



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PERENCANAAN SISTEM PENYALURAN AIR
LIMBAH DOMESTIK DAN INSTALASI
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TAHU
DI KOTA PROBOLINGGO**

ARIF GEMARDI
03211440000080

Dosen Pembimbing
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PERENCANAAN SISTEM PENYALURAN AIR
LIMBAH DOMESTIK DAN INSTALASI
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TAHU
DI KOTA PROBOLINGGO**

ARIF GEMARDI
03211440000080

Dosen Pembimbing
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - RE 141581

DESIGN OF DOMESTIC WATER DISTRIBUTION SYSTEM AND TOFU'S WASTEWATER INDUSTRY TREATMENT IN PROBOLINGGO CITY

ARIF GEMARDI
03211440000080

Supervisor
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental, and Geophysical Engineering
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN SISTEM PENYALURAN AIR LIMBAH DOMESTIK DAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TAHU DI KOTA PROBOLINGGO

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
ARIF GEMARDI
NRP 03211440000080

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Ir. Eddy Setiadi Soedjono, DipL. SE., M.Sc., Ph.D
NIP 196009081989031001



PERENCANAAN SISTEM PENYALURAN AIR LIMBAH DOMESTIK DAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TAHU DI KOTA PROBOLINGGO

Nama Mahasiswa : Arif Gemardi
NRP : 03211440000080
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Ir. Eddy Setiadi Soedjono, DipL.SE.,
M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Industri tahu dalam proses produksinya menghasilkan air limbah dengan karakteristik mengandung bahan organik yang tinggi. Akibat dari tingginya kandungan bahan organik dalam limbah industri tahu, akan menurunkan daya dukung lingkungan apabila dibuang langsung ke lingkungan. Pabrik tahu Asri di kota Probolinggo telah memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), namun hanya terdapat unit *Anaerobic Filter* saja. Biogas yang dihasilkan juga dibuang ke lingkungan tanpa ada pemanfaatan. Kondisi sanitasi di permukiman tahu Asri dan Kecamatan Mayangan, Kota Probolinggo khususnya air limbah domestik masih di buang ke badan air langsung. Hal ini memperparah pencemaran lingkungan yang terjadi di wilayah sekitar pabrik tahu Asri dan badan air di kota Probolinggo yang berada di kecamatan Mayangan. Pengolahan air limbah domestik dan air limbah pabrik tahu Asri membutuhkan biaya yang besar. Oleh karena itu, perencanaan ini bertujuan untuk merencanakan jaringan Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL) domestik, IPAL pabrik tahu Asri, pemanfaatan biogas hasil pengolahan, dan melakukan analisis kelayakan ekonomi dari pembangunan SPAL domestik dan IPAL pabrik tahu Asri.

Perencanaan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik (SPALD) dibagi menjadi dua yaitu Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALDT) kecamatan Mayangan dan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Setempat (SPALDS) permukiman sekitar pabrik tahu. Pada SPALDT mampu melayani 40238 penduduk dan menggunakan unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Bak Ekualisasi, Bak Pengendap 1, Tangki Aerasi, Bak Pengendap 2,

Thickener, dan *Sludge Drying Bed*. Unit IPAL yang digunakan pada SPALDS terdapat Anaerobik Digester sebagai pengolahan awal limbah cair tahu kemudian dilanjutkan unit yang sama dengan SPALDT yaitu Bak Ekualisasi, Bak Pengendap 1, Tangki Aerasi, Bak Pengendap 2. Pelayanan SPALDS sesuai dengan kemampuan pendistribusian biogas pabrik tahu Asri yaitu 67 rumah. Semua efluen dari Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Terpusat (IPALDT) dan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Setempat IPALDS sudah memenuhi baku mutu limbah domestik. Analisis *Benefit Cost Ratio* (BCR) menunjukkan proyek SPALDT dan SPALS layak secara ekonomi.

Kata kunci: Benefit Cost Ratio, Biogas, Limbah Cair Tahu, Limbah Domestik, SPALD.

DESIGN OF DOMESTIC WATER DISTRIBUTION SYSTEM AND TOFU'S WASTEWATER INDUSTRY TREATMENT IN PROBOLINGGO CITY

Name : Arif Gemardi
NRP : 03211440000080
Department : Enviromental Engineering
Supervisor : Ir. Eddy Setiadi Soedjono, DipL.SE.,
M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

The tofu industry in production process produces wastewater with characteristics containing high organic matter. The high content of organic matter in tofu industry wastewater will reduce the carrying capacity of the environment when disposed directly to the environment. The tofu factory in Probolinggo city already has Waste Water Treatment Plant (IPAL), but there is only an Anaerobic Filter unit. The resulting biogas is also discharged into the environment without any utilization. Sanitary conditions in the settlements around Asri Factory and District Mayangan in Probolinggo City especially domestic wastewater is still flowed to river directly. This is exacerbating environmental pollution that occurred in the area around Asri factory and district Mayangan. The domestic wastewater treatment and wastewater of Asri tofu factory cost a lot. Therefore, this plan aims to plan the network of Domestic Wastewater Distribution System (SPAL), IPAL of Asri tofu factory, the utilization of processing biogas, and to analyze the economic feasibility of the development of domestic SPAL and IPAL of Asri factory.

The Planning of the Domestic Wastewater Management System (SPALD) is divided into two: the Centralized Domestic Wastewater Management System (SPALDT) of Mayangan District and Local Domestic Wastewater Management System (SPALDS) settlement around the tofu plant. SPALDT is able to serve 40238 residents and use Waste Water Treatment Wastewater Treatment (IPAL) Equalization Tank, Sedimentation 1, Aeration Tank, Sedimentation 2, Thickener, and Sludge Drying Bed. The IPAL unit used in SPALDS is an Anaerobic Digester as the initial treatment of liquid waste and then proceeded to the same unit as SPALDT such as Equalization Tank, Sedimentation 1, Aeration Tank, Sedimentation 2. SPALDS service in accordance with the ability of biogas distribution of Asri tofu factory that is 67 houses .

All effluents from the Centralized Domestic Wastewater Treatment Plant (IPALDT) and the Local Domestic Wastewater Treatment Plant Installation of IPALDS have met the domestic waste quality standards. Analyst Benefit Cost Ratio (BCR) indicates SPALDT and SPALS projects are economically viable.

Keyword: Benefit Cost Ratio, Biogas, Domestic Wastewater, SPALD, Tofu Wastewater.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufiq serta hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar. Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi tugas mata kuliah Tugas Akhir serta meningkatkan kemampuan pemahaman bidang teknik lingkungan. Dalam penyusunan laporan ini, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, DipL.SE., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir saya. Saya mengucapkan terimakasih atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan.
2. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng., Bapak Welly Herumurti, ST., MT., dan Ibu Dr. Ir. Ellina S Pandebesie, MT, selaku dosen penguji. Saya mengucapkan terimakasih atas segala saran serta masukan yang diberikan kepada penulis.
3. Orang tua penyusun, Trubus S.Pd dan Dra. Sri Endahyati atas segala do'a serta nasihatnya.
4. Bidang TAPEN DLH Kota Probolinggo dan Ibu Ami Bappeda Kota Probolinggo yang telah memberi data pendukung untuk terlaksananya tugas akhir ini.
5. Bapak Solihin selaku pemilik pabrik Tahu Asri Kota Probolinggo yang telah memberikan izin pengambilan data.
6. Rekan mahasiswa Teknik Lingkungan angkatan 2014 yang telah mendukung serta membantu tugas akhir ini.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini telah diupayakan sebaik-baiknya, namun masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna hasil yang lebih baik.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

Halaman ini sengaja diskosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Proses Pembuatan Tahu	5
2.2 Air Limbah Tahu	6
2.3 Air Limbah Rumah Tangga	7
2.4 Sistem Penyaluran Air Limbah Domestik Terpusat (<i>off-site</i>)	10
2.4 Teknologi Pengolahan Air Limbah	13
2.4.1 <i>Barscreen</i>	13
2.4.2 <i>Grease Trap</i>	14
2.4.3 Bak Ekualisasi	14
2.4.4 <i>Anaerobic Biodigester</i>	15
2.4.5 <i>Anaerobic Filter</i>	17
2.4.6 Tangki Aerasi	23

2.4.7 Bak Pengendap II	24
2.5 <i>Biogas Treatment</i>	25
2.6 Kelayakan Keuangan dan Ekonomi	27
2.6.1 Kajian Kelayakan Keuangan	27
2.6.2 Kajian Kelayakan Ekonomi	29
BAB 3 GAMBARAN UMUM DAERAH PERENCANAAN	31
3.1 Pabrik Tahu Asri	31
3.2 Lokasi Pabrik Tahu Asri.....	31
3.3 IPAL Eksisting Pabrik Tahu Asri.....	33
3.4 Wilayah Pelayanan SPAL Domestik.....	37
3.5 Kondisi Sanitasi	39
3.6 Lokasi IPAL Domestik.....	40
BAB 4 METODE PERENCANAAN.....	41
4.1 Gambaran Umum Perencanaan.....	41
4.2 Kerangka Perencanaan.....	41
4.2.1 Ide Perencanaan	44
4.2.2 Studi Literatur.....	44
4.3.3 Pengumpulan Data	45
4.3.5 Pengolahan Data dan Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah	47
4.3.6 Ringkasan Hasil perencanaan.....	48
BAB 5 PRA-PERENCANAAN SPALD DAN IPAL PABRIK TAHU	49
5.1 Wilayah Perencanaan.....	49
5.1.1 Wilayah Pelayanan SPAL Kota Probolinggo	49
5.1.2 Wilayah Pelayanan SPAL dan Biogas Pabrik Tahu Asri	50
5.2 Analisa Hasil Kuisioner dan Wawancara.....	52

5.2.1 Hasil Kuisioner dan Wawancara SPALD-T	54
5.2.1 Hasil Kuisioner dan Wawancara SPALD-S dan Biogas	67
5.3 Proyeksi Penduduk.....	70
5.3.1 Pemilihan Metode Proyeksi	72
5.3.2 Proyeksi Penduduk 2020-2039	76
BAB 6 PERENCANAAN SISTEM PENYALURAN AIR LIMBAH	79
6.1 SPALD-T Kecamatan Mayangan	79
6.1.1 Debit dan Blok Pelayanan	79
6.1.2 Pembebanan Saluran	83
6.1.3 Perhitungan Dimensi Pipa	87
6.1.4 Penanaman Pipa	95
6.1.5 Bangunan Pelengkap SPALD-T	101
6.2 SPALD-S Pabrik Tahu Asri	107
6.2.1 Debit dan Pembebanan Saluran	107
6.2.2 Dimensi dan Penanaman Pipa SPALD-S	115
6.2.3 Bangunan Pelengkap SPALD-S.....	121
BAB 7 PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH	125
7.1 Perencanaan IPALD Terpusat	125
7.1.1 Bak Ekualisasi	126
7.1.2 <i>Barscreen</i>	130
7.1.3 Bak Pengendap 1	131
7.1.4 Tangki Aerasi.....	140
7.1.6 <i>Clarifier</i>	147
7.1.7 Penyisihan Total Coliform	153
7.1.8 <i>Sludge Thickener</i>	155
7.1.9 <i>Sludge Drying Bed</i>	160

7.2 Perencanaan IPAL Tahu Asri	162
7.2.1 Analisis Kinerja IPAL Eksisting	163
7.2.2 Skema Pengolahan IPAL Pabrik Tahu Asri.....	165
7.2.3 Reaktor Biogas	167
7.2.4 Bak Pengumpul	169
7.2.5 Bak Pengendap 1	173
7.2.6 Tangki Aerasi.....	177
7.2.7 Bak Pengendap 2	183
7.2.8 Penyisihan Total Coliform.....	188
BAB 8 PERENCANAAN PENYALURAN BIOGAS.....	191
8.1 Gas Holder.....	191
8.2 Unit Pelengkap Biogas	194
8.3 Jaringan Pipa Biogas.....	195
BAB 9 BILL OF QUANTITY DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA	197
9.1 Perpipaan	197
9.2 Bangunan Pelengkap	202
9.2.1 Manhole	202
9.2.2 Bak Kontrol	203
9.3 Galian dan Urugan Pipa	204
9.4 BOQ dan RAB IPALDT.....	210
9.4.1 Bak Ekualisasi	215
9.4.2 Barscreen	217
9.4.3 Bak Pengendap I	217
9.4.4 Unit Tangki Aerasi	219
9.4.5 Bak Pengendap II	220
9.4.6 Thickener	221
9.4.7 SDB.....	222

9.4.8 Unit Disinfeksi	222
9.5 BOQ dan RAB IPALDS	223
9.5.1 Bak Pengumpul	223
9.5.2 Digester	224
9.5.3 Modifikasi Anaerobik 2 menjadi Tangki Aerasi	224
9.5.4 Unit Disinfeksi	225
9.6 Total RAB SPAL dan IPAL	225
BAB 10 ANALISIS EKONOMI	227
10.1 Nilai Cost SPALD	227
10.2 Nilai <i>Benefit</i> SPALD	228
BAB 11 KESIMPULAN DAN SARAN	235
11.1 Kesimpulan	235
10.2 Saran	236
DAFTAR PUSTAKA	237
BIOGRAFI PENULIS	241
LAMPIRAN	xix

Halaman ini sengaja di kosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 2 Diagram Alir Produksi Tahu	6
Gambar 2. 3 Kurva <i>Peaking Factor for Domestic Wastewater Flows</i>	10
Gambar 2. 4 Grafik <i>Geometric and Hydraulic Ratios for Circular Cross Section</i>	12
Gambar 2. 6 <i>Anaerobic Filter</i>	18
Gambar 2. 7 Grafik Hubungan temperatur dengan <i>COD Removal</i>	19
Gambar 2. 8 Grafik Hubungan OLR dengan <i>BOD Removal</i>	20
Gambar 2. 9 Grafik Hubungan <i>Wastewater Strength</i> dengan <i>COD Removal</i>	20
Gambar 2. 10 Grafik Hubungan Luas Permukaan Filter dengan <i>COD Removal</i>	21
Gambar 2. 11 Grafik Hubungan HRT dengan <i>COD Removal</i>	21
Gambar 2. 12 Grafik Hubungan <i>BOD Removal</i> dengan <i>COD Removal</i>	22
Gambar 3. 1 Lokasi Pabrik Tahu Asri	32
Gambar 3. 2 Sketsa <i>Layout</i> Pabrik Tahu Asri	32
Gambar 3. 3 Foto Tampak Lahan Kosong F	33
Gambar 3. 4 Sketsa Tampak Atas IPAL I	34
Gambar 3. 5 Foto Tampak Bak Pendingin IPAL I	34
Gambar 3. 6 Foto Tampak <i>Anaerobic Filter</i> IPAL I	35
Gambar 3. 7 Sketsa Tampak Atas IPAL II	36
Gambar 3. 8 Foto Tampak Bak Pendingin IPAL II	36
Gambar 3. 9 Foto Tampak <i>Anaerobic Filter</i> IPAL II	37
Gambar 3. 10 Batas Wilayah Administrasi Kecamatan Mayangan	38
Gambar 3. 11 Kondisi Jalan di Kecamatan Mayangan	39
Gambar 3. 12 Kondisi Saluran Drainase di Kecamatan Mayangan	40
Gambar 3. 13 Lokasi Perencanaan IPAL Domestik.....	40
Gambar 4. 2 Kerangka Perancangan.....	44
Gambar 5. 1 Komposisi Pekerjaan di Wilayah Perencanaan SPALD-T	54
Gambar 5. 2 Komposisi Pendidikan Masyarakat di Wilayah Perencanaan SPALD-T	55

Gambar 5. 3 Jumlah Penghasilan Masyarakat di Wilayah Perencanaan SPALD-T.....	56
Gambar 5. 4 Sumber Air Bersih yang Digunakan Masyarakat Di Wilayah Perencanaan SPALD-T.....	57
Gambar 5. 5 Pembungan Air Limbah Domestik di Wilayah Perencanaan SPALD-T.....	61
Gambar 5. 6 Ketersediaan WC Pribadi di Wilayah Perencanaan SPALD-T	61
Gambar 5. 7 Kepemilikan Tangki Septik di Wilayah Perencanaan SPALD-T	62
Gambar 5. 8 Durasi Pengurusan Tangki Septik di Wilayah Perencanaan SPALD-T.....	62
Gambar 6. 1 Grafik " <i>Hydraulic Elements for Circular Sewer</i> "	88
Gambar 6. 2 Sketsa Penanaman Pipa SPAL.....	95
Gambar 6. 3 Grafik Spesifikasi Pompa yang Digunakan	106
Gambar 7. 1 Spesifikasi Pompa Bak Ekuilisasi	130
Gambar 7. 2 Sketsa Ruang Lumpur Bak Pengendap	136
Gambar 7. 3 Hubungan Solid Flux dengan MLSS	147
Gambar 7. 4 Skema Pengolahan IPAL Pabrik Tahu Asri.....	166
Gambar 7. 5 Grafik Percent Removal BOD dan TSS	173
Gambar 7. 6 Grafik Percent Removal COD in settlers.....	174
Gambar 7. 7 Grafik Reduction of Sludge Volume During Storage	176
Gambar 7. 8 Hubungan Solid Flux dengan MLSS	184
Gambar 7. 9 Grafik Reduction of Sludge Volume During Storage	186
Gambar 8. 1 Contoh Water Trap di Saluran Gas	194
Gambar 9. 1 Galian Normal Pipa Penyalur Air Limbah	204
Gambar 9. 2 Bentuk Galian yang Direncanakan Sepanjang Saluran	205

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Pengolahan Kedelai.....	7
Tabel 2. 2 Baku Mutu Air Limbah Domestik	7
Tabel 2. 3 Karakteristik Tipikal Air Limbah Domestik	8
Tabel 2. 4 Kriteria Desain Barscreen	13
Tabel 2. 5 <i>Solid Retention Time</i> pada digester	15
Tabel 2. 6 Kriteria Desain <i>Anaerobic Digester</i>	16
Tabel 2. 7 Kriteria desain reaktor <i>Anaerobic Filter</i>	18
Tabel 2. 8 Kriteria Desain untuk Tangki Aerasi.....	23
Tabel 2. 9 Kriteria Design untuk Bak Pengendap II	25
Tabel 2. 10 Kemampuan Penggunaan Biogas Pabrik Tahu Proma dan Sumber Baru	26
Tabel 3. 1 Luas Wilayah dan Jumlah Penduduk Kecamatan Mayangan	38
Tabel 5. 1 Jumlah Penduduk Wilayah Perencanaan	50
Tabel 5. 2 Jumlah Responden per Kelurahan.....	53
Tabel 5. 3 Jenis Kelamin dan Umur Responden.....	54
Tabel 5. 4 Data Pemakaian Air Bersih Masyarakat di Wilayah Perencanaan SPALD-T.....	57
Tabel 5. 5 Perhitungan Skala Likert 1	63
Tabel 5. 6 Interval Presentasi Nilai Skala Likert.....	65
Tabel 5. 7 Perhitungan Skala Likert 2	65
Tabel 5. 8 Perhitungan Skala Likert 3	66
Tabel 5. 9 Perhitungan Skala Likert 4	66
Tabel 5. 10 Jenis Pekerjaan Masyarakat Sekitar Pabrik Tahu Asri	67
Tabel 5. 11 Jumlah Anggota Keluarga	67
Tabel 5. 12 Bahan Bakar yang Digunakan.....	68
Tabel 5. 13 Kebutuhan LPG 3kg per Bulannya.....	68
Tabel 5. 14 Sumber Air Bersih yang Digunakan	68
Tabel 5. 15 Sarana Pembuangan Air Limbah Domestik	69
Tabel 5. 16 Ketersediaan WC di Rumah.....	69
Tabel 5. 17 Ketersediaan Tangki Septik	69
Tabel 5. 18 Durasi Pengurasan Tangki Septik.....	70
Tabel 5. 19 Ketersediaan Ikut Program SPALD-S dan Biogas ...	70
Tabel 5. 20 Data Penduduk Kecamatan Mayangan 2007-2016 ..	71
Tabel 5. 21 Nilai Koefisien Kolerasi Metode Aritmatika	73

Tabel 5. 22 Nilai Koefisien Kolerasi Metode Geometrik	74
Tabel 5. 23 Nilai Koefisien Kolerasi Least Square	75
Tabel 5. 24 Hasil Proyeksi Penduduk SPALD-T 2020-2039	76
Tabel 6. 1 Jumlah Penduduk Tiap Blok Pelayanan.....	79
Tabel 6. 2 Debit Air Limbah Domestik Tiap Blok SPALD-T.....	82
Tabel 6. 3 Pembebanan Saluran Sekunder SPALD-T	83
Tabel 6. 4 Pembebanan Saluran Primer SPALD-T	85
Tabel 6. 5 Data Perhitungan Dimensi Pipa Sekunder SPALD-T.....	91
Tabel 6. 6 Data Perhitungan Dimensi Pipa Primer SPALD-T	92
Tabel 6. 7 Data Kedalaman Penanaman Pipa Sekunder SPALD-T	97
Tabel 6. 8 Data Kedalaman Penanaman Pipa Primer SPALD-T	98
Tabel 6. 9 Jarak Antar Manhole pada Jalur Lurus	101
Tabel 6. 10 Jumlah Manhole setiap Saluran Sekuder.....	101
Tabel 6. 11 Jumlah Manhole setiap Saluran Primer	103
Tabel 6. 12 Debit Air Limbah Domestik Tiap SR SPALD-S	108
Tabel 6. 13 Pembebanan Saluran Pengumpul SPALD-S	111
Tabel 6. 14 Data Perhitungan Dimensi Pipa Pengumpul SPALD-S	117
Tabel 6. 15 Data Kedalaman Penanaman Pipa Pengumpul SPALD-S	119
Tabel 6. 16 Letak dan Jenis <i>Manhole</i> pada SPALD-S	121
Tabel 6. 17 Letak dan Jenis Bak Inspeksi pada SPALD-S	122
Tabel 7. 1 Karakteristik Air Limbah Domestik.....	125
Tabel 7. 2 Karakteristik Air Limbah Domestik.....	126
Tabel 7. 3 Fluktuasi Debit Air Limbah.....	127
Tabel 7. 4 Karakteristik Air Limbah Domestik.....	142
Tabel 7. 5 Karakteristik Air Limbah Domestik.....	155
Tabel 7. 6 Kriteria Desain Sludge Thickener Untuk Lumpur Campuran	155
Tabel 7. 7 Karakteristik Air Limbah Tahu dan Outlet IPAL	162
Tabel 7. 8 Karakteristik Efluen Rencana Digester.....	169
Tabel 7. 9 Konsentrasi Campuran Air Limbah	170
Tabel 7. 10 Karakteristik Efluen AF 2	175
Tabel 7. 11 Karakteristik Air Limbah Domestik	180
Tabel 7. 12 Karakteristik Efluen Air Limbah Domestik dan Tahu	189

Tabel 9. 1 Jumlah Pipa SPALDT dan SPALDS	197
Tabel 9. 2 RAB Pipa SPALDT dan SPALDS.....	202
Tabel 9. 3 <i>Bill of Quantity Manhole</i>	202
Tabel 9. 4 HSPK 1 Unit Manhole Tipikal	203
Tabel 9. 5 RAB Manhole SPALDT dan SPALDS	203
Tabel 9. 6 HSPK 1 Unit Bak Kontrol Tipikal	203
Tabel 9. 7 RAB Bak K0ntrol SPALDT dan SPALDS	204
Tabel 9. 8 Standar Urugan Galian yang Diperkenankan	205
Tabel 9. 9 Analisis HSPK Sistem Penyaluran Air Limbah.....	207
Tabel 9. 10 RAB SPAL	209
Tabel 9. 11 HSPK IPAL	210
Tabel 9. 12 RAB Bak Ekualisasi.....	216
Tabel 9. 13 RAB <i>Barscreen</i>	217
Tabel 9. 14 RAB Bak Pengendap 1	218
Tabel 9. 15 RAB Tangki Aerasi	219
Tabel 9. 16 RAB Bak Pengendap II	220
Tabel 9. 17 RAB Thickener	221
Tabel 9. 18 RAB SDB.....	222
Tabel 9. 19 RAB <i>Barscreen</i>	222
Tabel 9. 20 RAB Unit IPALDT Total	223
Tabel 9. 21 RAB Bak Pengumpul.....	223
Tabel 9. 22 RAB Digester	224
Tabel 9. 23 Modifikasi Anaerobik 2 menjadi Tangki Aerasi	224
Tabel 9. 24 RAB Unit Disinfeksi	225
Tabel 9. 25 RAB Unit IPALDT Total	225
Tabel 9. 26 Total RAB SPALT dan IPALDT	225
Tabel 9. 27 Total RAB SPALS dan IPALDS.....	226

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tahu dalam proses pengolahannya menghasilkan limbah, baik limbah padat maupun limbah cair. Limbah padat ini kebanyakan oleh pengrajin dijual dan diolah menjadi tempe gembus, kerupuk ampas tahu, pakan ternak, dan diolah menjadi tepung ampas tahu yang nantinya akan dijadikan bahan dasar pembuatan roti. Limbah cair tahu yang dihasilkan memiliki kadar COD dan BOD yang tinggi, sehingga jika langsung dibuang ke badan air tanpa ada pengolahan terlebih dahulu akan menurunkan daya dukung lingkungan. Oleh karena itu industri tahu memerlukan suatu pengolahan limbah yang bertujuan untuk mengurangi resiko beban pencemaran yang ada (Subekti, 2011).

Menurut Wagiman (2007), penyebab industri tahu tidak melakukan pengolahan air limbah adalah tidak melihat manfaat dari pengolahan air limbah tersebut. Masalah tersebut diatasi dengan penggunaan teknologi pengolahan limbah yang dapat memberikan nilai tambah bagi pengusaha industri tahu. Beban organik yang tinggi pada limbah cair tahu memungkinkan pengolahan air limbah dilakukan secara biologi anaerob sehingga dihasilkan biogas. Pemanfaatan biogas ini dapat memberikan nilai tambah sebagai energi alternatif bagi industri tahu tersebut atau warga sekitar.

Berdasarkan Kerja Praktik yang dilakukan Gemardi dan Marbun (2017), di kota Probolinggo terdapat dua pabrik tahu yang sudah memanfaatkan biogas dari pengolahan limbah cair tahu yaitu pabrik tahu Proma dan Sumber Baru. Beberapa pabrik tahu lain yang ada di kota Probolinggo seperti pabrik tahu Asri masih belum memanfaatkan biogasnya. Kondisi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di pabrik tahu Asri tidak terawat dan belum pernah dilakukan pengukuran kadar efluennya. Unit IPAL yang ada di pabrik tahu Asri hanya terdapat *Anaerobic Filter* saja. Menurut Herlambang (2002), untuk mengatasi air limbah industri tahu diperlukan proses pengolahan biologis anaerobik dan aerobik. Unit IPAL di pabrik tahu Asri perlu ditambah unit pengolahan biologis aerobik dan *gas holder* untuk menampung biogas yang dihasilkan.

Kondisi sanitasi di kota Probolinggo seperti di kecamatan Mayangan khususnya air limbah rumah tangga (domestik) masih dibuang langsung ke badan air. Sebagian masyarakat di kecamatan Mayangan masih belum memiliki jamban (DIKLHP, 2016). Kondisi ini bila dibiarkan akan mencemari lingkungan dan menimbulkan penyakit sehingga diperlukan pengolahan air limbah rumah tangga. Air limbah domestik yang dibuang ke badan air tersebut membutuhkan pengolahan terlebih dahulu guna menurunkan beban pencemaran.

Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Terpusat untuk kecamatan Mayangan dilakukan agar mengalami peningkatan kondisi sanitasi. Air limbah domestik disalurkan secara terpusat untuk diolah menggunakan unit pengolah air limbah yang sesuai dengan kondisi lingkungan. Kondisi sanitasi di permukiman dekat pabrik tahu Asri khususnya air limbah juga masih dibuang ke saluran drainase atau diresapkan ke dalam tanah. Perencanaan IPAL pabrik tahu Asri direncanakan mengolah air limbah tahu dan air limbah domestik agar sanitasi warga sekitar menjadi lebih baik. Pemanfaatan biogas hasil pengolah air limbah tahu juga bisa digunakan masyarakat sekitar sehingga memudahkan pengelola untuk menarik biaya retribusi IPAL.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dari perancangan ini adalah:

1. Kondisi sanitasi di kota Probolinggo seperti kecamatan Mayangan dan permukiman dekat pabrik tahu Asri masih terdapat rumah tangga yang belum memiliki jamban dan air limbah masih di buang ke badan air secara langsung
2. Hanya terdapat unit biologis anaerob di IPAL pabrik tahu Asri sehingga membutuhkan unit pengolahan tambahan
3. Biogas hasil pengolahan anaerob di IPAL pabrik tahu Asri belum dimanfaatkan
4. Butuh biaya pembangunan IPAL pabrik tahu Asri dan SPAL domestik

1.3 Tujuan

Tujuan dari perancangan ini adalah:

1. Merencanakan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik untuk permukiman di kecamatan Mayangan dan Pabrik Tahu Asri, kota Probolinggo

2. Merancang Instalasi Pengolahan Air Limbah tambahan untuk pabrik tahu Asri
3. Merencanakan sistem distribusi biogas hasil pengolahan air limbah pabrik tahu Asri ke warga sekitar
4. Melakukan analisis kelayakan ekonomi terhadap pembangunan IPAL pabrik tahu Asri dan SPAL domestik kecamatan Mayangan.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari perencanaan ini adalah:

1. Lokasi perencanaan dilakukan di Kota Probolinggo meliputi wilayah sekitar pabrik tahu Asri dan Kecamatan Mayangan.
2. Sistem Pengelolaan Air limbah domestik yang direncanakan hanya Penyaluran dan Pengolahan air limbah domestik.
3. Perencanaan *Engineering Design* mencakup perhitungan dimensi dan aspek hidrolika bangunan IPAL pabrik tahu dan SPAL domestik.
4. Perencanaan *biogas treatment* meliputi sistem distribusi dan pemurnian biogas
5. Parameter yang diolah adalah BOD, COD, TSS, N, Minyak Lemak, Total Coliform, dan pH
6. Aspek yang dikaji yaitu aspek teknis dan aspek finansial.
7. Perhitungan kelayakan ekonomi meliputi biaya pembangunan, biaya operasi, biaya perawatan, dan biaya retribusi.
8. Gambar teknis meliputi:
 - a. Denah pabrik tahu dan permukiman sekitar
 - b. Layout IPAL dan SPAL
 - c. *Detail Engineering* SPAL
 - d. *Detail Engineering* tiap unit pengolahan
 - e. Potongan memanjang dan melintang unit pengolahan
 - f. Potongan memanjang dan melintang sistem penyaluran air limbah dan biogas
 - g. Profil hidrolis.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari perencanaan ini adalah:

1. Memberikan informasi terkait sistem penyaluran air limbah rumah tangga di kecamatan Mayangan dan sekitar pabrik tahu Asri.

2. Memberikan informasi terkait desain Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik dan pabrik tahu Asri agar efluennya memenuhi baku mutu.
3. Memberikan gambaran terkait pemanfaatan biogas yang dihasilkan dengan menyalurkannya ke permukiman warga sekitar.
4. Memberikan pertimbangan secara ekonomi atas kelayakan pembanguna SPAL domestik dan IPAL Pabrik Tahu.

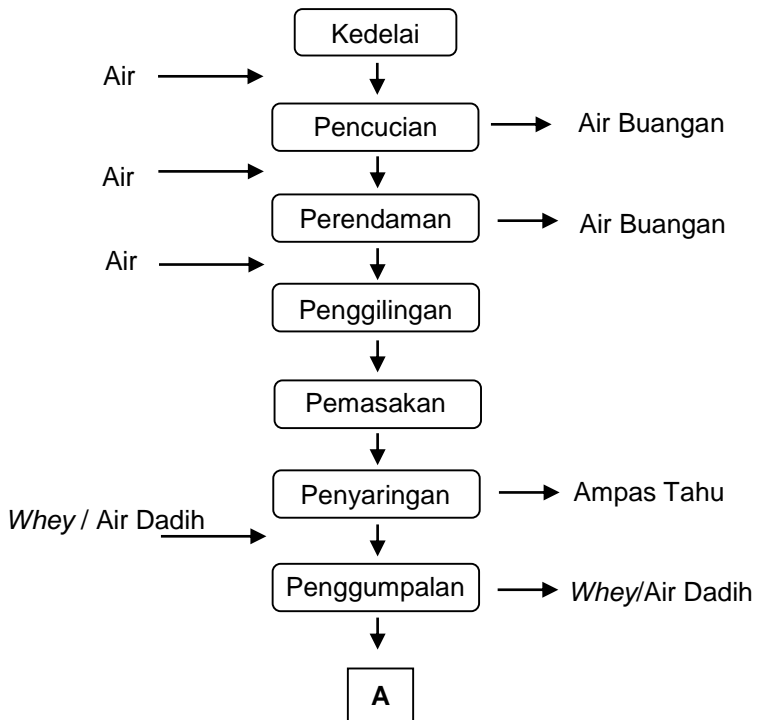
BAB 2

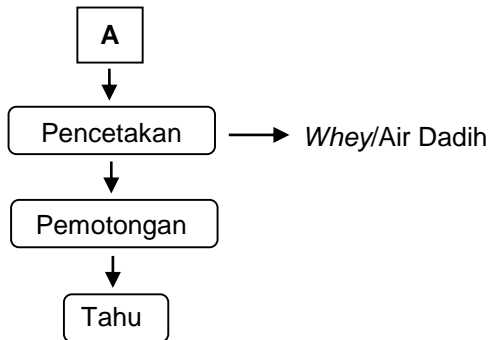
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Pembuatan Tahu

Menurut Widaningrum (2015), tahu diproduksi dengan memanfaatkan sifat protein yaitu akan menggumpal bila bereaksi dengan asam. Penggumpalan protein oleh asam cuka akan berlangsung secara cepat dan serentak di seluruh bagian cairan sari kedelai, sehingga sebagian air yang semula tercampur dalam sari kedelai akan terperangkap di dalamnya. Pengeluaran air yang terperangkap tersebut dapat dilakukan dengan memberikan tekanan. Semakin besar tekanan yang diberikan, semakin banyak air dapat dikeluarkan dari gumpalan protein. Gumpalan protein itulah yang kemudian disebut dengan tahu.

Proses produksi tahu secara rinci dapat dilihat pada diagram alir proses produksi tahu dibawah ini:





Gambar 2. 1 Diagram Alir Produksi Tahu
(Sumber: Purwaningsih, 2015)

2.2 Air Limbah Tahu

Sebagian besar sumber air limbah yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu adalah cairan berwarna kuning yang terpisah dari gumpalan tahu atau sering disebut dengan air dadih (*whey*). Cairan ini mengandung kadar protein yang tinggi dan dapat segera terurai. Sebagian dari air dadih akan digunakan kembali sebagai biang dalam proses penggumpalan tahu. Limbah cair ini sering dibuang secara langsung ke badan air tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga dapat mencemari lingkungan (Sani, 2006). Air buangan yang berasal dari proses pencucian dan perendaman memiliki nilai beban pencemar yang rendah sehingga dapat di buang langsung ke badan air penerima (Kaswinarni, 2007).

Menurut Potter dkk., (1994) dalam Pamungkas (2017), jumlah air limbah tahu yang dihasilkan dalam proses pembuatan tahu kira-kira 15-20 L/kg bahan baku kedelai. Beban pencemar yang dihasilkan untuk *Total Suspended Solids* (TSS) 30 g/kg kedelai (1500-2000 mg/L), *Chemical Oxygen Demand* (COD) 130 g/kg kedelai (6500-8500 mg/L), dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) 6 g/kg kedelai (3250-4250 mg/L).

Baku mutu air limbah tahu adalah Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya, terutama Lampiran I tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Pengolahan Kedelai. Baku mutu tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Pengolahan Kedelai

Parameter	Kecap	Tahu	Tempe
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
pH	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
TSS	30	30	30
BOD ₅	75	100	100
COD	150	150	150

Sumber: PERGUB JATIM No. 72 Tahun 2013

Untuk mengetahui jumlah debit air limbah yang dihasilkan per harinya dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.1 berikut

$$Q_{\text{air limbah}} = \text{Jumlah Kedelai (kg/hari)} \times \text{Jumlah limbah (15-20 L/kg kedelai)} \dots\dots\dots (2.1)$$

2.3 Air Limbah Rumah Tangga

Sumber air limbah domestik berasal dari aktivitas rumah tangga kamar mandi, area mencuci, dan dapur. Air limbah dari dapur mengandung residu makanan, kadar minyak dan lemak tinggi, dan detergen pembersih makanan. Air limbah kamar mandi mengandung sisa sabun, pencuci rambut, pasta gigi, urin dan tinja. Air limbah dari aktivitas mencuci memiliki kandungan konsentrasi bahan kimia tinggi dari serbuk sabun untuk pencucian, padatan terlarut, dan lemak (Morel dan Diener, 2006).

Parameter kualitas air yang digunakan adalah sesuai dengan Baku mutu air limbah domestik diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Baku Mutu Air Limbah Domestik

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu
1	pH	-	6-9
2	TSS	mg/L	30
3	BOD ₅	mg/L	30
4	COD	mg/L	100

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu
5	Minyak dan Lemak	mg/L	5
6	<i>Ammonia</i>	mg/L	10
7	<i>Total Coliform</i>	MPN/100 mL	3000

Sumber: Permen LHK No. 68 Tahun 2016

Adapun karakteristik tipikal air limbah domestik dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. 3 Karakteristik Tipikal Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Low Strength	Medium Strength	High Strength
BOD	mg/L	110	190	350
COD	mg/L	250	430	800
TS	mg/L	390	720	1230
VS	mg/L	270	500	860
TSS	mg/L	120	210	400
VSS	mg/L	95	160	315
Total N	mg/L	20	40	70
sebagai:				
Organik	mg/L	8	15	25
Ammonia	mg/L	12	25	45
Nitrit	mg/L	0	0	0
Nitrat	mg/L	0	0	0
Total P	mg/L	4	7	12
sebagai:				
Organik	mg/L	1	2	4
Anorganik	mg/L	3	5	8
Minyak dan Lemak	mg/L	50	90	100
Klorit	mg/L	30	50	90
Sulfat	mg/L	20	30	50

Parameter	Satuan	Low Strength	Medium Strength	High Strength
<i>Total Coliform</i>	Col/100 mL	$10^6 - 10^8$	$10^7 - 10^9$	$10^7 - 10^{10}$
<i>Fecal Coliform</i>	Col/100 mL	$10^3 - 10^5$	$10^4 - 10^6$	$10^5 - 10^8$

(Sumber: Doran, 2008)

Debit air limbah domestik didapatkan dari debit aktual yang dihasilkan, namun apabila tidak ada data maka air limbah diasumsikan 70% dari penggunaan air bersih daerah pelayanan (Tchobanoglous, 1981). Persamaan untuk menghitung debit rata-rata air limbah terdapat pada persamaan berikut.

Debit rata-rata

$$Q_{ave} = Q_w \times 70\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

Q_{ave} = debit air limbah (L/orang.hari)

Q_w = debit rata-rata penggunaan air bersih

Debit puncak

$$Q_{peak} = f_{peak} \times Q_{ave} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

Q_{peak} = debit air limbah puncak (L/detik)

f_{peak} = daktor puncak

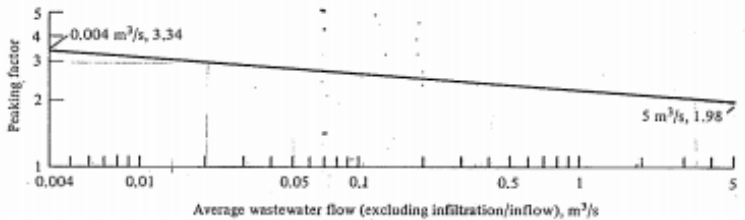
Q_{ave} = debit air limbah rata (L/detik)

Faktor puncak merupakan rasio antara debit puncak dan debit rata-rata. Faktor puncak (F_p) dicari berdasarkan persamaan Hougan.

$$f_p = (18 + (P^{0.5})) / (4 + (P^{0.5}))$$

(Sumber: Exton, 2002)

Untuk menentukan besaran faktor puncak pada IPAL dapat menggunakan *peaking factor*.



Gambar 2. 2 Kurva *Peaking Factor* for Domestic Wastewater Flows
(Sumber: Tchobanoglous, 1981)

Debit minimum

Menurut Fair dan Geyer (1971), untuk menghitung debit minimum air limbah terdapat dalam persamaan 2.4.

$$Q_{min} = 1/5 \times (P)^{1/6} \times Q_{ave} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

Q_{min} = debit air limbah minimum (L/detik)

P = jumlah penduduk

Q_{ave} = debit air limbah rata-rata (L/detik)

2.4 Sistem Penyaluran Air Limbah Domestik Terpusat (*off-site*)

Sistem penyaluran air limbah domestik terpusat adalah penyaluran dan pengumpulan air limbah pada satu tempat pengolahan. Sistem ini dibagi menjadi tiga tergantung jenis air limbah yang disalurkan. Ketiga jenis saluran air limbah domestik yaitu *Small Bore Sewer*, *Shallow Sewer*, dan *Conventional Sewer*.

a. *Small Bore Sewer*

Sistem *Small Bore Sewer* dirancang hanya untuk menyalurkan bagian cair dari air buangan kamar mandi, cuci, dapur, dan limpasan air dari tangki septik. Bagian padat dari air buangan seperti sampah, lemak, pasir dan lumpur akan ditahan di bak kontrol. Sistem ini cocok diterapkan pada penduduk dengan kepadatan tinggi dan berpenghasilan rendah. Saluran jenis ini tidak memerlukan penggelontoran atau self cleansing (Otis dan Mara, 1985).

b. *Conventional Sewer*

Sistem *Conventional Sewer* merupakan sistem penyaluran air limbah yang dirancang untuk menyalurkan semua jenis limbah domestik baik padat (*black water*) maupun cair (*grey water*). Syarat dari sistem penyaluran ini adalah kemampuan untuk melakukan *self cleansing*. Kecepatan minimal, tinggi renang minimal, dan *slope* saluran harus diperhatikan untuk tercapainya *self cleansing*. Pengoperasian sistem ini membutuhkan biaya yang cukup besar dan pemakaian air yang tinggi. Sistem ini biasanya diterapkan pada lingkup penduduk yang luas dan sudah tersambung *supply* air bersih (Exton, 2002).

c. *Shallow Sewer*

Sistem *Shallow Sewer* merupakan sistem penyaluran air limbah yang hampir sama dengan *Conventional Sewer*. Sistem ini dirancang untuk menyalurkan semua jenis limbah domestik baik padat (*black water*) maupun cair (*grey water*). Kemiringan pipa pada sistem ini lebih landai dari *Conventional Sewer*. Syarat dari sistem penyaluran ini adalah dilakukan pengelontoran untuk mengalirkan zat padat yang mengendap di saluran (Ramachandran, 1986).

Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan sistem penyaluran air limbah sebagai berikut.

- a. Konstanta *manning*
(*n*) = 0,009-0,015 untuk pipa HDPE (ACPA, 2012)
- b. Diameter pipa minimum = 100 mm (Iskandar dkk, 2016)
- c. Kecepatan minimum = 0,6 m/s (Montes dkk, 2017)
- d. Kecepatan maksimum = 3,0 m/s saat kondisi *peak* (Aidun, 2013)
- e. Tinggi renang minimum (*d/D*) = 20% dari diameter pipa (Kementerian PUPR, 2015)
- f. Nilai *Q_{peak}/Q_{full}* diperoleh dari grafik *Hydraulic Ratios for Circular Cross Section* pada gambar 2.3
- g. Kemiringan atau *slope* (*S*)

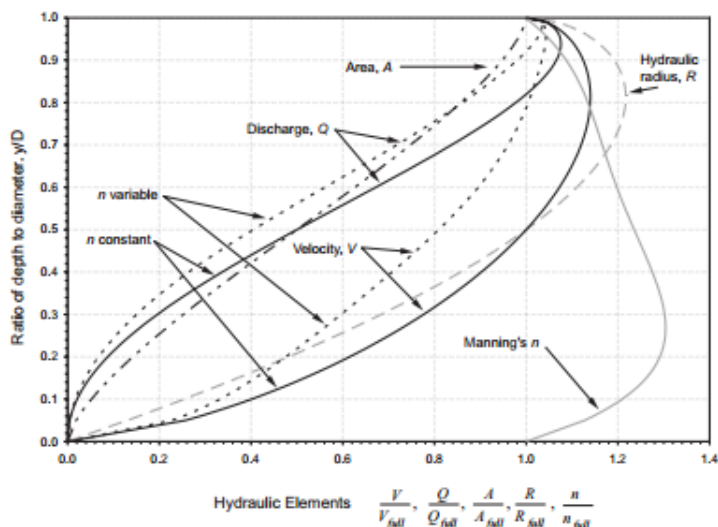
$$S = \Delta H / L \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

S = slope

ΔH = beda elevasi (m)

L = panjang pipa (m)



Gambar 2. 3 Grafik Geometric and Hydraulic Ratios for Circular Cross Section

(Sumber: Systems dkk, 2007)

Persamaan *manning* untuk pipa dapat dilihat pada Persamaan 2.6 dan 2.7.

Manning

$$v = 1/n \times R^{0.667} \times S^{0.5} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

- v = kecepatan dalam pipa (m/s)
- n = koefisien manning
- R = radius hidrolis (m²/m)
- S = slope (m/m)

Diameter Pipa

$$D = [(Q_{full} \times n) / (0,3117 \times S^{0.5})] \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

- v = kecepatan dalam pipa (m/s)
- n = koefisien manning
- R = radius hidrolis (m²/m)
- S = slope (m/m)

Persamaan *head* dan *headloss* apabila menggunakan pompa dapat dilihat pada Persamaan berikut.

Head pompa = *Head* statis + *Headloss* mayor + *Headloss* minor (diabaikan karena terlalu kecil) (2.8)

Head statis = beda tinggi muka air

$$\text{Headloss mayor} = \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L$$

2.4 Teknologi Pengolahan Air Limbah

Pengolahan air limbah pada hakikatnya adalah suatu perlakuan tertentu pada air limbah untuk menurunkan beban pencemarnya agar tidak mencemari lingkungan. Untuk menentukan secara tepat perlakuan yang diberikan kepada air limbah, terlebih dahulu diketahui karakteristik dari air limbah tersebut. Berbagai penetapan atau parameter digunakan untuk mengetahui macam dan jenis komponen pencemar air limbah beserta sifat-sifatnya.

Pengolahan limbah cair meliputi pengolahan fisik, kimia, dan biologis. Pengolahan fisik dilakukan dengan memberikan perlakuan secara fisik terhadap zat pencemar. Pengolahan secara kimia dilakukan dengan penambahan zat kimia sehingga proses penurunan beban pencemar terjadi melalui reaksi kimia. Proses pengolahan secara biologis dilakukan dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan zat organik *biodegradable* (Metcalf dan Eddy, 2014).

2.4.1 Barscreen

Proses pengolahan pertama kali pada air limbah adalah pengolahan fisik berupa penyaringan. Screen berfungsi untuk menyaring atau memisahkan benda-benda terapung dan melayang agar tidak mengganggu proses berikutnya. Prinsip yang digunakan adalah menghilangkan bahan padat kasar dengan menggunakan sederet bahan baja yang diletakkan berdekatan dan melintang arah aliran. Ada dua macam tipe *barscreen* dari segi operasionalnya yaitu bar screen dengan pembersihan manual dan bar screen dengan pembersihan mekanik. Kriteria desain dari masing-masing tipe dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Kriteria Desain Barscreen

Parameter	Satuan	Metode Pembersihan	
		Manual	Mekanikal
<i>Bar size</i>			
<i>Width</i>	mm	5-15	5-15
<i>Depth</i>	mm	25-38	25-38
<i>Space between bars</i>	mm	25-50	15-75
<i>Slope</i>	deg	30-45	0-30
<i>Velocity</i>			
<i>Maximum</i>	m/s	0,3-0,6	0,6-1,0
<i>Minimum</i>	m/s		0,3-0,5
<i>Headloss max</i>	mm	150	150-600

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2014

2.4.2 Grease Trap

Grease Trap mampu menyisihkan komponen-komponen ringan seperti minyak dan lemak yang terakumulasi di permukaan air. Unit ini digunakan sebagai unit pengolahan primer untuk sumber limbah spesifik seperti limbah dapur dan restoran. *Grease Trap* harus dirancang untuk menyesuaikan dua kriteria dasar untuk pemisahan minyak dan lemak secara efektif yaitu waktu/suhu dan turbulensi. Waktu retensi *grease trap* harus cukup untuk mengemulsi minyak dan lemak untuk penurunan suhu yaitu 15-30 menit. Hal tersebut juga dilakukan untuk memisahkan dan mengapungkan ke permukaan perangkap. Turbulensi harus dikurangi untuk menghindari suspensi minyak dan padatan. (Morel dan Diener, 2006).

2.4.3 Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi digunakan untuk mengatasi masalah operasional seperti variasi debit. Bak ekualisasi juga untuk meningkatkan kinerja proses aliran bawah dan mengurangi ukuran dan harga unit pengolahan aliran bawah. Ekualisasi debit bertujuan untuk mencapai debit konstan dan dapat diaplikasikan pada kondisi berbeda tergantung karakteristik sistem pengumpulan. Bak ekualisasi dapat disusun secara *in-line* maupun

off-line. Pada susunan *in-line*, semua debit melewati bak ekualisasi. Penyusunan ini dapat digunakan untuk mencapai jumlah pengecilan konsentrasi konstituen dan debit. Pada susunan *off-line* hanya debit yang melimpah yang dialirkan menuju bak ekualisasi. Volume bak ekualisasi ditentukan menggunakan perhitungan *inflow* kumulatif (volume) yang tersisa dari *outflow* rata-rata.

2.4.4 Anaerobic Biodigester

Anaerobic biodigester merupakan sistem pengolahan biologis anaerobik yang akan menghasilkan energi dari proses anaerobik dan menghasilkan sedikit lumpur. Pengolahan air limbah secara anaerobik terdapat 4 tahap proses yaitu *hydrolisis*, *fermentation* (*acidogenesis* dan *acetogenesis*), dan *methanogenesis* (Metcalf dan Eddy, 2014).

Limbah tahu memiliki kandungan bahan organik yang tinggi sehingga berpotensi dalam menghasilkan biogas. Unit biodigester digunakan untuk mengoptimalkan potensi biogas dari limbah tahu. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Setiawan dan Rusdijati (2014), Pembentukan biogas optimum dari limbah cair tahu dipengaruhi faktor dominan, yaitu:

- 1) Nilai pH diatur pada kisaran 6,8
- 2) Suhu diatur dalam *range* 35-40 °C

Kriteria *design* yang digunakan adalah (1) *Solid Retention Time* (SRT), waktu rata-rata *solid* tinggal selama proses *Digestion*, dan (2) *Hydraulic Retention Time* (HRT), waktu rata rata *liquid* tinggal selama proses *Digestion*. Untuk substrat terlarut, SRT dapat ditentukan dengan membagi Massa *Solid* (M) dengan Massa *solid* yang ter removal per harinya (M/d). HRT sama dengan Volume *liquid* dalam reaktor (m³) dibagi dengan jumlah *biosolid* terremoval (m³/d). Untuk sistem digester tanpa *recycle*, SRT=HRT (Metcalf dan Eddy, 2014).

SRT dapat ditentukan dengan mengacu pada temperature seperti pada Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2. 5 Solid Retention Time pada digester

Temperature (° C)	SRT _{min} (day)
18	11

24	8
30	6
35	4
40	4

(Sumber: Reynold, 1996)

Kriteria disain yang umum digunakan untuk *anaerobic digester low-rate* dan *high-rate* dapat dilihat pada Tabel 2.6

Tabel 2. 6 Kriteria Desain *Anaerobic Digester*

Parameter	Low rate	High rate
<i>Digestion Time, days</i>	30-60	10-20
<i>Organic Solids Loading, kg vss/m³.day</i>	0,64-1,60	2,40-6,40
<i>Depth (m)</i>	3,66-13,7	
<i>Diameter (m)</i>	4,57-38,1	

(Sumber: Reynold, 1996)

Beberapa persamaan yang digunakan dalam perhitungan unit biodigester dan biogas adalah:

Perhitungan Volume

$$\text{Volume digester} = Q \text{ sludge} \times \text{SRT desain} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\text{Solid Retention Time} = \frac{\text{Massa Solid}}{\text{Massa Solid Teremoval}} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\text{Hidraulic Retention Time} = \frac{V \text{ liquid dalam reaktor}}{\text{Biosolid teremoval}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Pada kondisi tanpa *return sludge*:

$$\text{SRT} = \text{HRT} \dots\dots\dots (2.12)$$

Perhitungan Biogas

$$P_x = \frac{YQ(S_o - S) \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right)}{1 + b(\text{SRT})} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana: P_x = *Net mass of cell tissue produced per day*, kg/d

Y = *Yield coefficient*, g VSS / g bCOD

Q = *Debit*, m³/d

S_o = *bCOD influen*, g/m³

S = *bCOD efluen*, g/m³

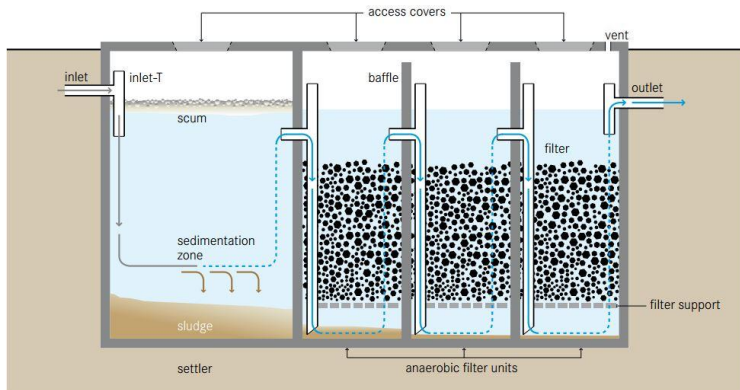
$$\begin{aligned}
 b &= \text{Endogenous coefficient, } d^{-1} \text{ (0,02 – 0,04)} \\
 \text{SRT} &= \text{Solid retention time, d} \\
 V_{CH_4} &= (0,35)[(S_o - S)(Q)(1 \text{ kg}/1000 \text{ g}) - 1,42P_x] \dots\dots\dots (2.14) \\
 \text{Dimana: } V_{CH_4} &= \text{Volume of methane gas (0 } ^\circ\text{C and 1 atm), m}^3/\text{d} \\
 0,35 &= \text{Theoretical conversion factor (0 } ^\circ\text{C and 1 atm)} \\
 V_{\text{Biogas}} &= \frac{\text{Total gas metan}}{\% \text{ gas metan}} \dots\dots\dots (2.15)
 \end{aligned}$$

2.4.5 Anaerobic Filter

Menurut Morel dan Diener (2006), *Anaerobic Filter* adalah unit pengolahan air limbah sistem terlekat menggunakan biofilm. *Anaerobic Biofilter* terdiri atas tangki kedap air yang mempunyai beberapa lapisan media yang terendam, yang menyediakan area permukaan untuk mengendap. Aliran air limbah biasanya melewati filter dari bawah ke atas yang akan bertemu dengan biomassa yang terlekat pada filter dan akan terjadi degradasi anaerobik. Götzenberger (2009) menjelaskan bahwa *Anaerobic Filter* digunakan untuk air limbah domestik maupun limbah industri dengan persentase padatan tersuspensi yang rendah dan rasio COD/BOD kecil.

Media filter seperti kerikil, batu atau plastik memiliki luas permukaan tambahan untuk melekatkan bakteri. Semakin luas permukaan media untuk pertumbuhan bakteri maka semakin cepat proses penguraian. Sebuah media filter yang baik memiliki 90-300 m² luas permukaan setiap m³ volume reaktor (Sasse, 1998). Pengoperasian *Anaerobic Filter* dengan pola aliran ke atas umumnya menghasilkan lebih banyak biomassa dalam suspensi dibandingkan dengan pola aliran ke bawah (Morel dan Diener, 2006).

Gambar dan arah aliran pada *Anaerobic Filter* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 4 Anaerobic Filter
(Sumber: Tilley dkk., 2014)

Adapun kriteria desain reaktor *Anaerobic Filter* sebagai berikut.

Tabel 2. 7 Kriteria desain reaktor *Anaerobic Filter*

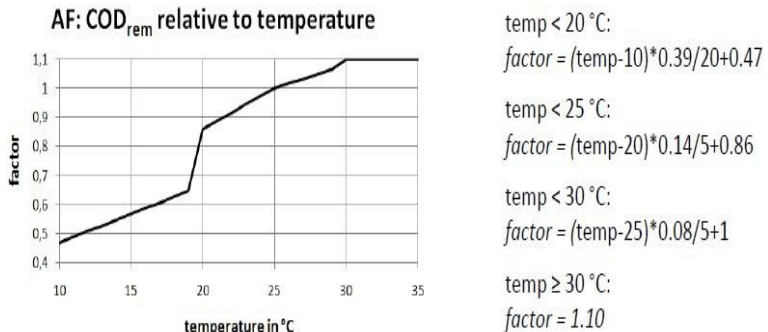
Parameter	Nilai	Sumber
Rasio SS/COD	0,35-0,55	Götzenberger, 2009
<i>Organic Loading Rate</i> (OLR)	< 5 kg COD/m ³ .hari	Metcalf dan Eddy, 2003
<i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT)	12-72 jam	Metcalf dan Eddy, 2003
Luas area filter	sekitar 100 m ² /m ³	Metcalf dan Eddy, 2003
Ukuran filter	80-140 mm	Götzenberger, 2009
Kecepatan aliran (V _{up})	maksimal 1,7 m/jam	Metcalf dan Eddy, 2003
Tinggi ruang lumpur	0,5 m	Permen PUPR no. 4 Tahun 2017
Tinggi air di atas media	0,2 m	Permen PUPR no. 4 Tahun 2017

Persamaan perhitungan desain *Anaerobic Filter* dapat dilihat pada langkah- langkah berikut.

- **Mass balance**

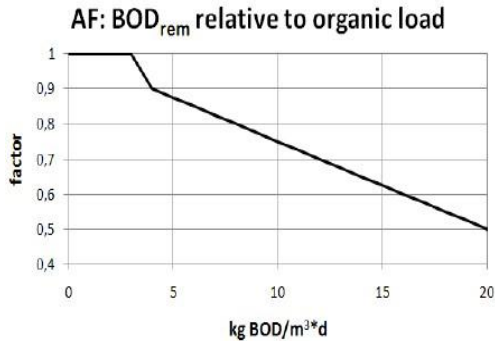
Perhitungan *mass balance Anaerobic Filter* digunakan untuk mengetahui efisiensi BOD yang nantinya akan digunakan untuk mencari lumpur BOD. Beberapa grafik parameter diantaranya temperatur, *Organic Loading Rate* (OLR), *COD strength*, luas permukaan filter, dan *Hydraulic Retention Time* (HRT).

Grafik temperatur



Gambar 2. 5 Grafik Hubungan temperatur dengan COD Removal
 (Sumber: Götzenberger, 2009)

Grafik Organic Loading Rate (OLR)



load < 4 kg/m³*d:

factor = 1.00

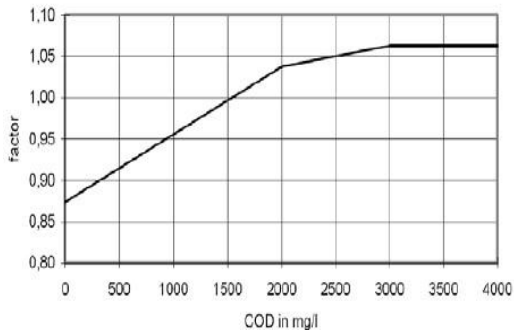
load ≥ 4 kg/m³*d:

factor = 1 - (load) * 0.4/16

Gambar 2. 6 Grafik Hubungan OLR dengan BOD Removal
(Sumber: Götzenberger, 2009)

Grafik COD strength

anaerobic filter, COD_{rem} in relation to wastewater strength



COD_m < 2000 mg/L:

factor = COD_m * 0.17/2000 + 0.87

COD_m < 3000 mg/L:

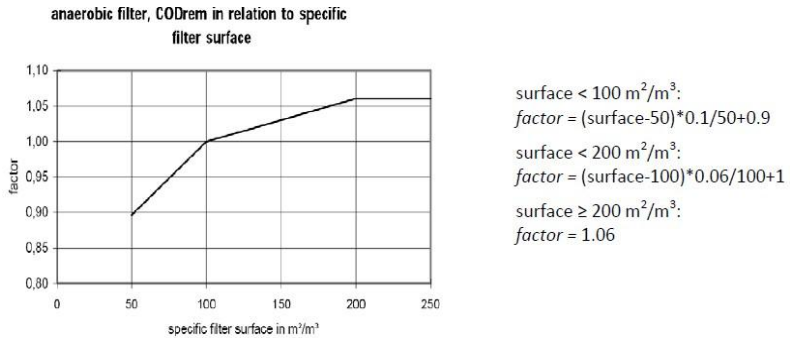
factor = (COD_m - 2000) * 0.02/1000 + 1.04

COD_m ≥ 3000 mg/L:

factor = 1.06

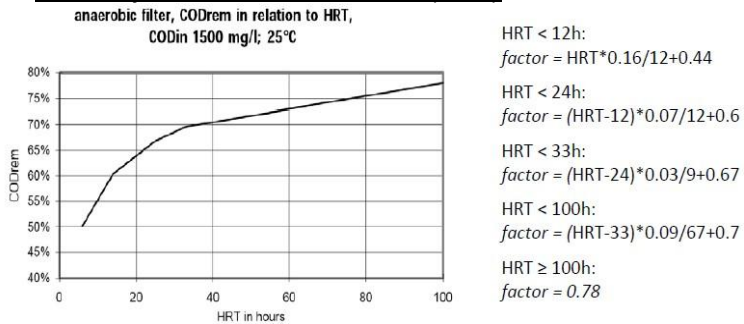
Gambar 2. 7 Grafik Hubungan Wastewater Strength dengan COD Removal
(Sumber: Götzenberger, 2009)

Grafik luas permukaan filter



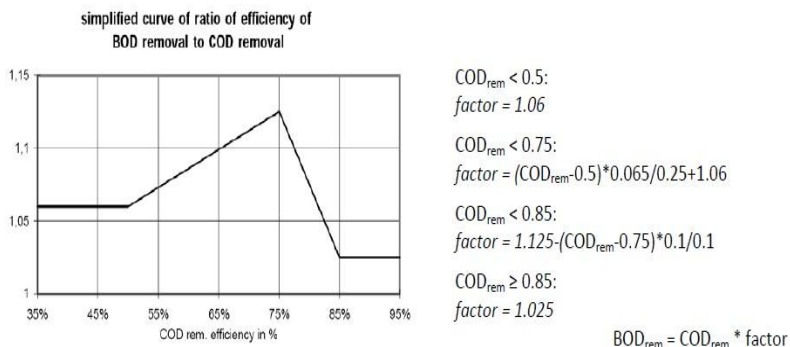
Gambar 2. 8 Grafik Hubungan Luas Permukaan Filter dengan COD Removal
 (Sumber: Götzenberger, 2009)

Grafik Hydrarulic Retention Time (HRT)



Gambar 2. 9 Grafik Hubungan HRT dengan COD Removal
 (Sumber: Götzenberger, 2009)

Berdasarkan pengolahan dalam AF, didapatkan efisiensi persen removal dari masing-masing parameter, maka efisiensi BOD dapat diperoleh dari grafik hubungan efisiensi BOD dengan efisiensi COD.



Gambar 2. 10 Grafik Hubungan BOD Removal dengan COD Removal
(Sumber: Götzenberger, 2009)

Adapun perhitungan *Anaerobic Filter* berdasarkan Götzenberger (2009) dan Metcalf and Eddy (2014) adalah sebagai berikut:

- COD tersisihkan dapat dihitung dengan rumus berikut.
 $\% \text{ COD}_{rem} = 100(1 - \theta^{-0.68}) \dots\dots\dots (2.16)$
 Dimana: $\% \text{ COD}_{rem}$ = presentase penyisihan COD pada bak pengendap
 θ = HRT, waktu tinggal pada bak pengendap (jam)
- Upflow Velocity dari air limbah dalam *Anaerobic Filter*, yang tidak boleh melebihi 2 m/jam, ditentukan dengan persamaan berikut:
 $V_{up} = Q / \text{Across} = QH / AH = H / \theta \dots\dots\dots (2.17)$
 Dimana : Q = Debit aliran (m^3/jam)
 Ac = luas area melintang reaktor (m^2)
 H = kedalaman air (m)
- Desain dari kompartemen
 $V_{kompartemen} = Ac \times H \dots\dots\dots (2.18)$
- Jumlah (n) kompartemen sendiri ditentukan dari persamaan berikut
 $n = \frac{Q \times \theta}{H \times \text{Across}} = \frac{\theta \times V_{up}}{H} \dots\dots\dots (2.19)$
- Perhitungan luas permukaan media
 Volume media = debit x COD / OLR $\dots\dots\dots (2.20)$
 Volume rongga = porositas x volume media $\dots\dots\dots (2.21)$

- $A_{\text{surface}} = Q / \text{HLR} \dots\dots\dots (2.22)$
- Perhitungan kebutuhan media
 - Total tinggi media = Volume rongga / $A_{\text{Surface}} \dots\dots\dots (2.23)$
 - Jumlah media = Tinggi total media/tinggi satu media... (2.24)
- Perhitungan dimensi *Anaerobic Filter*
 - Tentukan rasio perbandingan panjang : lebar (misal 2:1)
 - Lebar = $(A_{\text{surface}}/2)^{1/2} \dots\dots\dots (2.25)$
 - Panjang = 2 x lebar $\dots\dots\dots (2.26)$
- Perhitungan rasio F/M
 - $F/M = (Q (S_o - S)) / \text{MLSS} \times V \dots\dots\dots (2.27)$
- Perhitungan produksi gas
 - $V_{\text{gas}} = (\text{COD}_{\text{inf}} - \text{COD}_{\text{out}}) \times Q \times 0,35/1000/0,7 \times 0,5 \dots\dots (2.28)$
 - Dimana: V_{gas} = volume gas yang terbentuk (m³)
 - Q = debit air limbah (m³/hari)
 - 0,35 = 350 L gas metan setiap kg removal COD
 - 0,7 = % removal COD

2.4.6 Tangki Aerasi

Tangki aerasi adalah sistem pengolahan biologis tersuspensi secara aerobik sehingga membutuhkan *supply* oksigen. Sistem aerobik memiliki keunggulan yaitu proses lebih cepat sehingga dimensi bangunan lebih kecil dibandingkan sistem pengolahan anaerobik. Proses *supply* oksigen dalam tangki aerasi bisa dilakukan secara difuser atau mekanikal. Kriteria desain dari tangki aerasi dapat dilihat pada tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Kriteria Desain untuk Tangki Aerasi

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Rasio F/M	kg.BOD/kg MLSS.hari	0,2-0,6
2	<i>Organic Loading Rate</i> (OLR)	kg.BOD/m ³ .hari	0,3-1,6
3	Waktu tinggal (td)	jam	3-6
4	<i>Solid Retention Time</i> (SRT)	hari	3-15
5	MLVSS	mg/L	1500-4000

(Sumber: Metcalf dan Eddy, 2014)

Beberapa persamaan yang digunakan dalam perhitungan unit biodigester dan biogas adalah:

$$\text{Volume Tangki Aerasi} = Q \times \text{HRT desain} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$\text{Solid Retention Time} = \frac{\text{Volume} \times X}{((Q-Q_w) \times X_e) + (Q_w \times X_r)} \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana: X = MLVSS dalam reaktor, mg/L

Q = Debit, m³/d

Q_w = Debit buangan lumpur, m³/d

X_e = MLVSS efluen tangki aerasi, mg/L

X_r = MLVSS resirkulasi, mg/L

$$\text{F/M ratio} = \frac{Q \times S_o}{\text{Volume} \times \text{MLVSS}} \dots\dots\dots (2.31)$$

$$\text{Organic Loading Rate (OLR)} = \frac{Q \times S_o}{\text{Volume}} \dots\dots\dots (2.32)$$

$$\text{Resirkulasi} = \frac{Q_r}{Q} \dots\dots\dots (2.33)$$

Produksi Lumpur

$$P_x = \frac{Y_{obs} \times Q \times (S_o - S_e)}{1000} \dots\dots\dots (2.34)$$

Dimana:

P_x : Produksi lumpur (kg/hari)

S_o : Konsentrasi influen BOD₅ (mg/L)

S_e : Konsentrasi efluen BOD₅ (mg/L)

Q : Debit influen (m³/hari)

Y_{obs} : Koefisien *yield* observasi

Kebutuhan Oksigen

$$kg \text{ O}_2 = \frac{Q \times (S_o - S_e)}{1000 \times f} - 1,42 P_x \dots\dots\dots (2.35)$$

Dimana:

P_x : Produksi lumpur (kg/hari)

S_o : Konsentrasi influen BOD₅ (mg/L)

S_e : Konsentrasi efluen BOD₅ (mg/L)

Q : Debit influen (m³/hari)

f : Faktor konversi BOD₅ ke BOD *ultimate* (0,68)

2.4.7 Bak Pengendap II

Bak pengendap II berfungsi untuk memisahkan lumpur aktif hasil proses degradasi bahan organik dengan air. Lumpur yang mengandung bakteri yang masih aktif akan diendapkan atau disirkulasi kembali ke tangki aerasi. Sebagian lumpur dari unit bak

pengendap akan dipompa kembali ke proses *activated sludge* sebagai sumber mikroba untuk meningkatkan konsentrasi biomassa dalam tangki aerasi. Lumpur yang tidak digunakan akan dibuang atau dikirim ke Instalasi Pengolahan Lumpur. Kriteria desain dari bak pengendap II dapat dilihat pada tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Kriteria Design untuk Bak Pengendap II

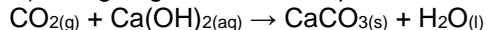
Parameter	Range
Overflow rate (m ³ /m ² . hari)	8,15 -16,3
Solid loading rate (kg/ m ² .hari)	98 -147
Kedalaman (m)	3,7 – 4,6

(Sumber: Reynold, 1996)

2.5 Biogas Treatment

Biogas dihasilkan dari proses degradasi bahan organik *biodegradable* secara biologis dalam kondisi anaerobik. Komposisi biogas terdiri dari 55-75 % CH₄, 25-45 % CO₂, 0-3 % H₂S, dan gas lain. Adanya gas metan (CH₄) yang memiliki nilai kalor yang besar menjadikan biogas mampu untuk menghasilkan energi. Jumlah energi yang dihasilkan dari pembakaran 1 meter kubik (m³) CH₄ adalah 9,67 kWh atau setara dengan nilai kalor yang dimiliki 0,71 kg elpiji. Gas CH₄ murni tidak berbau, tetapi jika digunakan untuk keperluan komersil akan ditambahkan sedikit belerang untuk mendeteksi kebocoran yang mungkin terjadi (SGC, 2012).

Keberadaan gas CO₂ dalam biogas perlu dihilangkan karena akan mengurangi nilai kalor pembakaran biogas. Penggunaan teknologi pemurnian biogas tergantung pada komposisi biogas dan tujuan penggunaannya. Tujuan penggunaan biogas bagi masyarakat memiliki komposisi standar tertentu sehingga diperlukan proses pemurnian. Teknologi pemurnian biogas yang sering digunakan adalah menggunakan absorpsi larutan Ca(OH)₂ yang merupakan senyawa alkali. Proses reaksi yang terjadi antara larutan Ca(OH)₂ dengan gas CO₂ sesuai persamaan reaksi berikut



Larutan Ca(OH)₂ disebut air kapur dan merupakan basa dengan kekuatan sedang dibandingkan larutan NaOH. Penggunaan larutan Ca(OH)₂ sebagai filter diharapkan biogas yang berkontak dengan larutan akan bereaksi (Nadliriyah dan Triwikantoro, 2013).

Pemurnian biogas bisa juga menggunakan teknik adsorpsi dengan karbon aktif. Penelitian yang dilakukan Harihastuti, dkk (2016) terhadap pemurnian biogas hasil pengolahan limbah tahu menggunakan karbon aktif dapat meningkatkan konsentrasi gas CH_4 hingga 84,12 %. Kandungan CO_2 hasil pemurnian menggunakan karbon aktif turun menjadi 6,9 % dari 30,77%. Variabel yang digunakan adalah berat karbon aktif 25000 g, waktu kontak 3 jam, dan flowrate biogas 47 L/menit.

Biogas yang memiliki nilai kalor yang besar dapat dijadikan sebagai energi alternatif pengganti energi fosil. Penggunaan biogas umumnya digunakan untuk kegiatan dapur seperti memasak dan memanaskan air. Potensi biogas yang dihasilkan dari pengolahan limbah cair tahu sangat besar. Biogas dari limbah cair tahu ini memungkinkan untuk dilakukan pemanfaatan dengan menyalurkannya ke rumah-rumah warga sekitar. Warga yang mendapatkan saluran biogas akan dikenakan biaya retribusi untuk operasi dan perawatan pengelolaan biogas.

Pemanfaatan biogas hasil pengolahan limbah cair tahu sudah dilakukan oleh pabrik tahu Proma dan Sumber Baru di kota Probolinggo. Biogas hasil pengolahan limbah cair pabrik tahu Proma dan Sumber Baru disalurkan ke rumah-rumah warga sekitar. Penggunaan biogas oleh warga sekitar pabrik tahu biasanya digunakan untuk kepentingan memasak sehari-hari. Masing-masing rumah yang mendapat saluran biogas membayar biaya retribusi sebesar Rp 15.000 per bulannya. Biaya ini digunakan untuk keperluan pengoperasian dan perawatan dari reaktor biogas dan pipa penyalur biogas. Kemampuan dari penggunaan biogas yang dihasilkan pabrik tahu Proma dan Sumber Baru dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 10 Kemampuan Penggunaan Biogas Pabrik Tahu Proma dan Sumber Baru

No.	Variabel	Pabrik Tahu	
		Proma	Sumber Baru
1	Jumlah Pekerja	24	15

No.	Variabel	Pabrik Tahu	
		Proma	Sumber Baru
2	Jam Kerja	09.00 – 13.00 WIB	07.00 – 17.00 WIB
3	Kebutuhan Kedelai	700 kg	1000 kg
4	Debit Limbah	8,33 m ³ /hari	11,9 m ³ /hari
5	Biogas yang dihasilkan	38,34 m ³ /hari	37,23 m ³ /hari
6	Jumlah Pengguna Biogas	46 KK	42 KK
7	Kebutuhan Biogas	30 m ³ /hari	36 m ³ /hari
8	Kapasitas Gas Holder	29 m ³	96,2 m ³
9	Tekanan yang diberikan Gas Holder	0,0064 kg/cm ²	0,00054 kg/cm ²

(Sumber: Gemardi dan Marbun, 2017)

2.6 Kelayakan Keuangan dan Ekonomi

2.6.1 Kajian Kelayakan Keuangan

Kelayakan keuangan dilaksanakan untuk mendapatkan gambaran proyeksi keuangan terbaik dalam jangka waktu tertentu. Penilaian kelayakan didasarkan atas hasil perhitungan parameter kelayakan. Investasi disebut layak apabila hasil perhitungan parameter kelayakan tersebut minimal sama dengan batasan kelayakan yang ditetapkan. Langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisis kelayakan keuangan berdasarkan Permen PUPR no. 4 Tahun 2017 terdapat pada persamaan berikut

Payback period

$$\text{Payback period} = \text{total investment} : \text{cash inflow} \dots \dots \dots (2.36)$$

Dimana:

Payback period = jangka waktu pengembalian

Total investment = total investasi atau total proyek

Cash inflow = aliran kas proyek (nilai bersih)

Net Present Value (NPV)

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{I}{(1+r)} + \frac{CF}{(1+r)^t} \dots\dots\dots(2.37)$$

Dimana:

NPV = nilai sekarang dari investasi

I = modal awal

CF = *cash flow* tiap tahunnya

r = tingkat bunga

n = tahun ke-n

Internal Rate of Return (IRR)

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{I}{(1+IRR)} + \frac{CF}{(1+IRR)^t} \dots\dots\dots(2.38)$$

Dimana:

IRR = tingkat bunga kegiatan

I = modal awal

CF = *cash flow* tiap tahunnya

n = tahun ke-n

Penilaian kelayakan membandingkan antara manfaat secara keuangan dengan biaya (modal dan operasional) yang dikeluarkan. Hasil perhitungan disebut positif terhadap batas kelayakan keuangan apabila:

1. *Pay back period* maksimal sama dengan jumlah tahun yang ditentukan.
2. NPV bernilai positif.
3. IRR minimal sama dengan nilai yang ditetapkan.

Kegiatan pembangunan SPAL dan IPAL dinyatakan layak secara keuangan apabila kegiatan tersebut dapat memberikan hasil lebih dari pengembalian modal secara komersial. Apabila hasil perhitungan negatif terhadap batas kelayakan keuangan maka:

1. dilakukan penyesuaian terlebih dahulu terhadap nilai investasi, biaya operasional, sumber pendanaan, retribusi atau tarif

2. apabila hasilnya tetap berada di bawah penilaian kelayakan keuangan maka penilaian dilanjutkan dengan penilaian kelayakan ekonomi.

2.6.2 Kajian Kelayakan Ekonomi

Kajian kelayakan ekonomi dilaksanakan untuk mendapatkan gambaran proyeksi laporan ekonomi ke depan untuk menentukan nilai ekonomi suatu kegiatan di masa yang akan datang. Pengkajian kelayakan ekonomi meliputi penyusunan laporan keuangan dengan menganalisis proyek laporan ekonomi terhadap kriteria kelayakan ekonomi. Langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisis kelayakan ekonomi berdasarkan Permen PUPR no. 4 Tahun 2017 terdapat pada persamaan berikut

Economic Net Present Value (ENPV)

$$ENPV = \sum_{t=0}^n \frac{I}{(1+r)} + \frac{CF}{(1+r)^t} \dots\dots\dots (2.39)$$

Dimana:

ENPV = nilai sekarang dari investasi

I = modal awal

CF = *cash flow* tiap tahunnya

r = tingkat bunga (%)

n = tahun ke-n

Economic Internal Rate of Return (IRR)

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{I}{(1+EIRR)} + \frac{CF}{(1+EIRR)^t} \dots\dots\dots (2.40)$$

Dimana:

EIRR = tingkat bunga kegiatan

I = modal awal

CF = *cash flow* tiap tahunnya

n = tahun ke-n

Economic Benefit Cost Ratio

$$\frac{B}{C} \text{ Ratio} = \sum_{t=0}^n \frac{Benefit}{(1+i)^t} : \sum_{t=0}^n \frac{Cost}{(1+i)^t} \dots\dots\dots (2.41)$$

$$\frac{B}{C} \text{ Ratio} =$$

$$\sum_{t=0}^n \frac{PV \text{ cash inflows}}{PV \text{ cash outflow}} \dots\dots\dots (2.42)$$

Dimana:

PV *cash inflows* = nilai sekarang dari manfaat

PV *cash outflows* = nilai sekarang dari biaya

Hasil perhitungan dibandingkan dengan batas kelayakan ekonomi yang ditentukan sebelumnya. Penilaian kelayakan membandingkan antara manfaat yang diterima dengan biaya yang dikeluarkan. Hasil perhitungan positif terhadap kelayakan ekonomi apabila:

1. ENPV bernilai positif
2. EIRR minimal sama dengan nilai yang ditetapkan
3. *Benefit Cost Ratio* > 1

Proyek dinyatakan layak secara ekonomi apabila nilai dari ketiga poin di atas terpenuhi. Proyek atau kegiatan layak ekonomi artinya kegiatan tersebut dapat memberikan manfaat ekonomi yang baik pada masyarakat. Apabila hasil perhitungan kajian ekonomi tidak sesuai dengan parameter yang ditentukan, maka:

1. dilakukan penyesuaian terlebih dahulu terhadap biaya investasi, biaya pengoperasian, sumber pendanaan, tarif atau retribusi
2. dilakukan iterasi secara berulang hingga mendapatkan hasil yang positif sehingga dapat dipertimbangkan untuk kelanjutan rencana investasi.

BAB 3

GAMBARAN UMUM DAERAH PERENCANAAN

3.1 Pabrik Tahu Asri

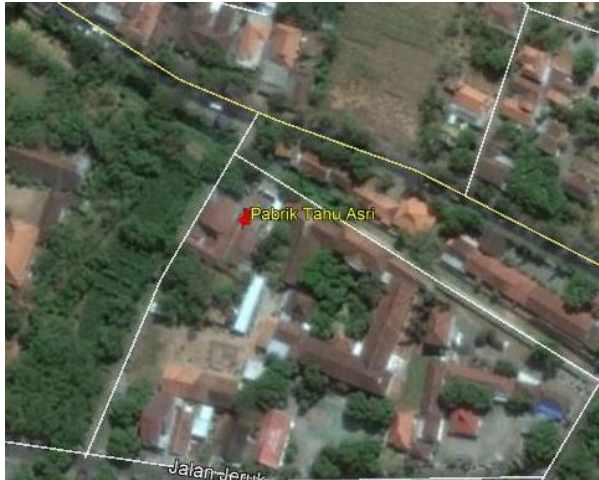
Pabrik tahu Asri didirikan pada tahun 1994 oleh Bapak Ahmad Solihin sekaligus pemilik dan penanggung jawabnya. Saat ini kapasitas produksi pabrik tahu Asri rata-rata mencapai 1400 kg kedelai per hari. Bapak Solihin berencana meningkatkan jumlah produksi tahu menjadi 1600 kg kedelai per hari menyesuaikan permintaan konsumen. Jumlah pekerja di pabrik tahu ini berjumlah sebanyak 25 orang yang berasal dari saudara sendiri dan penduduk sekitar. Proses produksi yang dilakukan di pabrik tahu Asri masih tradisional dengan jam kerja dari pukul 08.00 WIB sampai 17.00 WIB bahkan sampai jam 20.00 WIB tergantung jumlah pekerja yang masuk kerja. Pada pabrik tahu Asri terdapat tungku pemanas sebanyak 2 buah, bak perendam dan pencucian kedelai 2 buah, alat penggiling kedelai 2 buah, dan alat masak berserta pemotongan tahu sebanyak 9 buah.

3.2 Lokasi Pabrik Tahu Asri

Pabrik tahu ini berlokasi di Jalan Sutami No. 17 Kel. Jrebeng Kidul, Kec. Wonoasih, Kota Probolinggo. Pabrik tahu Asri dibatasi oleh wilayah berikut:

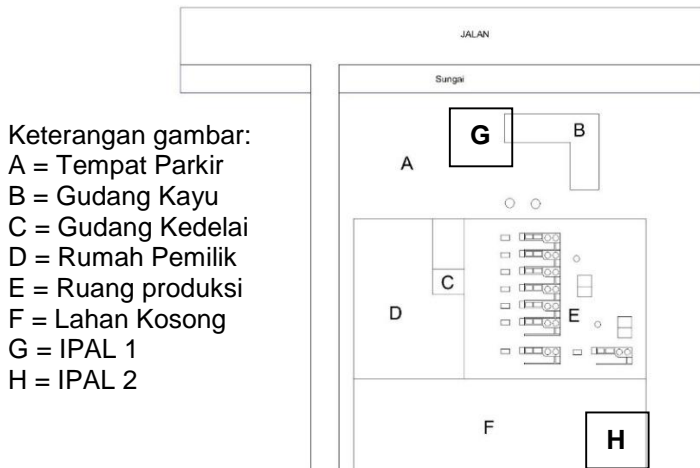
- Sebelah utara : Jalan Raya dan Rumah Warga
- Sebelah timur : Sekolah dan Kantor Kelurahan Jrebeng Kidul
- Sebelah selatan : Rumah Warga
- Sebelah barat : Lahan Kosong

Lokasi pabrik tahu Asri dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Lokasi Pabrik Tahu Asri
(Sumber: Google Earth, 2017)

Berdasarkan hasil survei lapangan, dapat digambar *layout* lokasi daerah perencanaan IPLC pabrik tahu Asri seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Sketsa Layout Pabrik Tahu Asri

Untuk ukuran lahan kosong pada pabrik tahu Asri adalah 30 m x 15 m. Gambar tampak dari lahan kosong F dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut.



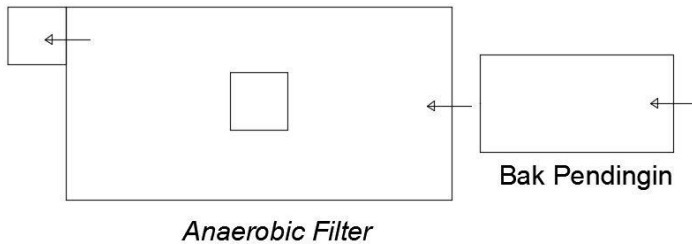
Gambar 3. 3 Foto Tampak Lahan Kosong F

3.3 IPAL Eksisting Pabrik Tahu Asri

Pabrik tahu Asri memiliki dua unit IPAL dengan sistem *Anaerobic Filter*. IPAL pertama dibangun pada tahun 2014 karena mendapat keluhan masyarakat akibat bau tidak sedap dari air limbah tahu. Namun, karena jumlah produksi tahu yang terus meningkat mengakibatkan IPAL I tidak dapat mengatasi beban air limbah yang berlebihan sehingga masih mendapat keluhan dari masyarakat. Maka pada tahun 2015-2016, dibangun IPAL kedua dengan ukuran lebih besar. Air limbah yang masuk ke dalam IPAL berasal dari proses pemasakan hingga penggumpalan sari tahu. Sedangkan air buangan dari proses perendaman dan pencucian langsung dibuang ke sungai yang ada di depan pabrik tahu. Limbah cair industri tahu yang dihasilkan rata-rata sebesar 21 m³/hari. Spesifikasi dari masing-masing IPAL adalah sebagai berikut:

1) IPAL I

Pada IPAL I menggunakan sistem *Anaerobic Filter* satu kompartemen dengan media potongan botol plastik. Dimensi dari unit IPAL I adalah sebagai berikut: Panjang = 4 m; Lebar = 2 m; Kedalaman = 5 m; *Freeboard* = 0,5 m; Tinggi media = 3,5 m. Sebelum memasuki IPAL I, air limbah melewati Bak Pendingin berukuran 2 m x 1 m dengan kedalaman 4 m. Air limbah yang masuk ke IPAL I berasal dari tiga alat masak yang memiliki elevasi hampir sama dengan IPAL I. Berikut adalah gambar 3.4 – 3.6 sketsa dan foto tampak dari IPAL I.



Gambar 3. 4 Sketsa Tampak Atas IPAL I



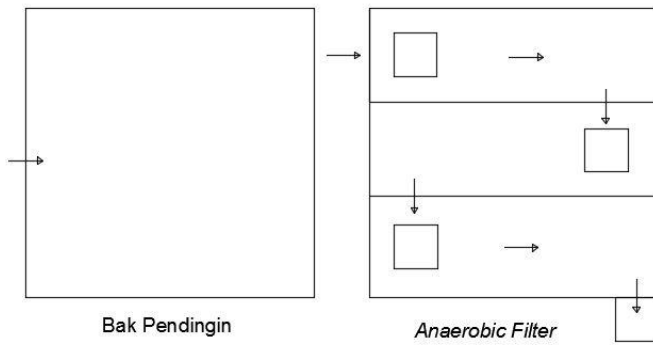
Gambar 3. 5 Foto Tampak Bak Pendingin IPAL I



Gambar 3. 6 Foto Tampak Anaerobic Filter IPAL I

2) IPAL II

Pada IPAL II menggunakan sistem *Anaerobic Filter* dengan tiga kompartemen dengan media Tali Tamar yang disusun secara vertikal. Dimensi dari unit IPAL I adalah sebagai berikut: Panjang = 4 m; Lebar = 4 m; Kedalaman = 6 m; *Freeboard* = 0,5 m; Tinggi media = 4,5 m. Sedangkan ukuran tiap kompartemen sama yaitu panjang 4 m, lebar 1,3 m, dan kedalaman 6 m. Sebelum memasuki IPAL I, air limbah melewati Bak Pendingin berukuran 4 m x 4 m dengan kedalaman 4 m. Air limbah yang masuk ke IPAL II berasal dari empat alat masak yang memiliki elevasi hampir sama dengan IPAL II. Hal ini dikarenakan posisi dari IPAL II lebih tinggi dari pada IPAL I. Berikut adalah gambar 3.7 – 3.9 sketsa dan foto tampak dari IPAL II.



Gambar 3. 7 Sketsa Tampak Atas IPAL II



Gambar 3. 8 Foto Tampak Bak Pendingin IPAL II



Gambar 3. 9 Foto Tampak Anaerobic Filter IPAL II

3.4 Wilayah Pelayanan SPAL Domestik

Pelayanan SPAL di kota Probolinggo meliputi wilayah di sekitar pabrik tahu Asri dan kecamatan Mayangan. Kecamatan Mayangan merupakan salah satu kecamatan di wilayah Kota Probolinggo yang terletak di sebelah utara kota Probolinggo. Kecamatan Mayangan memiliki luas wilayah sebesar 8,65 km² dengan ketinggian wilayah sebesar +- 4 meter diatas permukaan laut (Kecamatan Mayangan Dalam Angka 2016). Secara adminsitratif, wilayah kecamatan Mayangan memiliki batas wilayah sebagai berikut.

- | | |
|--------------------|-------------------------|
| 1. Sebelah Utara | : Selat Madura |
| 2. Sebelah Selatan | : Kecamatan Kanigaran |
| 3. Sebelah Timur | : Kabupaten Probolinggo |
| 4. Sebelah Barat | : Kecamatan Kademangan |

Sesuai dengan data hasil registrasi penduduk per tahun 2016, Kecamatan Mayangan memiliki jumlah penduduk sebesar 62.653 jiwa dengan tingkat kepadatan penduduk sebesar 7.182 jiwa/km². Kecamatan Mayangan dibagi menjadi beberapa kelurahan antara lain kelurahan Mayangan, kelurahan Jati,

kelurahan Sukabumi, kelurahan Wiroborang, kelurahan Tisnonegaran dan kelurahan Mangunharjo. Jumlah dan kepadatan penduduk kecamatan Mayangan dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Luas Wilayah dan Jumlah Penduduk Kecamatan Mayangan

No.	Kelurahan	Jumlah Penduduk	Luas Wilayah	Kepadatan Penduduk
		Jiwa	km ²	Jiwa/ km ²
1	Wiroborang	6551	1,191	5500
2	Jati	13303	1,246	10677
3	Sukabumi	10867	1,487	7308
4	Mangunharjo	20188	3,455	5843
5	Mayangan	11744	1,276	9204
6	Tisnonegaraan	5902	2,479	2381
Jumlah		68555	11,134	6819

Sumber: Kecamatan Mayangan dalam Angka 2017

Wilayah Pelayanan SPAL di kecamatan Mayangan dapat di lihat pada gambar 3.10 berikut.



Gambar 3. 10 Batas Wilayah Administrasi Kecamatan Mayangan

Akses jalan yang terdapat di kecamatan Mayangan memiliki lebar bervariasi antara 1,5-8 m tergantung jenis jalan. Kontruksi jalan yang digunakan adalah aspal, beton, paving, dan padatan tanah. Kondisi jalan di Kecamatan Mayangan dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3. 11 Kondisi Jalan di Kecamatan Mayangan

3.5 Kondisi Sanitasi

Jumlah rumah tangga yang belum memiliki jamban di kota Probolinggo sebanyak 11.273 rumah tangga. Kecamatan Mayangan yang berada di pusat kota Probolinggo dan memiliki jumlah penduduk terbanyak dan terpadat masih ada 880 rumah tangga yang belum memiliki jamban (DIKPLH, 2016). Air limbah domestik di kota Probolinggo masih di buang ke badan air khususnya saluran drainase. Pada dasarnya saluran drainase didesain untuk menerima dan menyalurkan air hujan sehingga pada musim kemarau saluran ini kering. Fakta di lapangan, fungsi saluran drainase di kota Probolinggo khususnya kecamatan Mayangan disalahgunakan menjadi saluran air limbah domestik. Saluran drainase di kecamatan Mayangan masih banyak yang menggenang atau tidak mengalir pada musim kemarau. Genangan ini dapat menjadi sarang nyamuk dan vektor penyakit. Kondisi saluran drainase di kecamatan Mayangan dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3. 12 Kondisi Saluran Drainase di Kecamatan Mayangan

3.6 Lokasi IPAL Domestik

Lokasi IPAL yang digunakan dipilih atas dasar ketersediaan lahan dan memiliki elevasi lebih rendah dari wilayah perencanaan. Elevasi yang lebih rendah memungkinkan pengaliran air limbah secara gravitasi sehingga mengurangi penggunaan pompa. Lokasi perencanaan IPAL berada di sebelah utara kecamatan Mayangan dan berupa sawah dengan luas 7500 m². Lokasi perencanaan IPAL dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3. 13 Lokasi Perencanaan IPAL Domestik

BAB 4

METODE PERENCANAAN

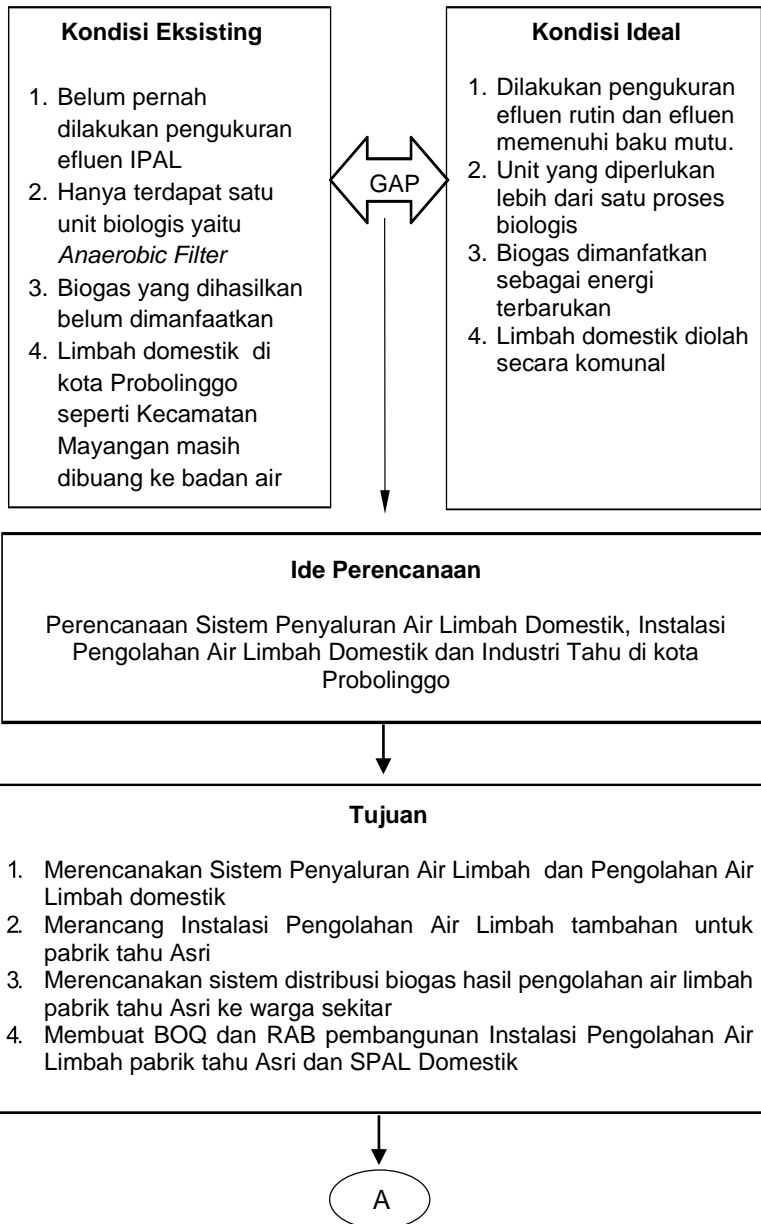
4.1 Gambaran Umum Perencanaan

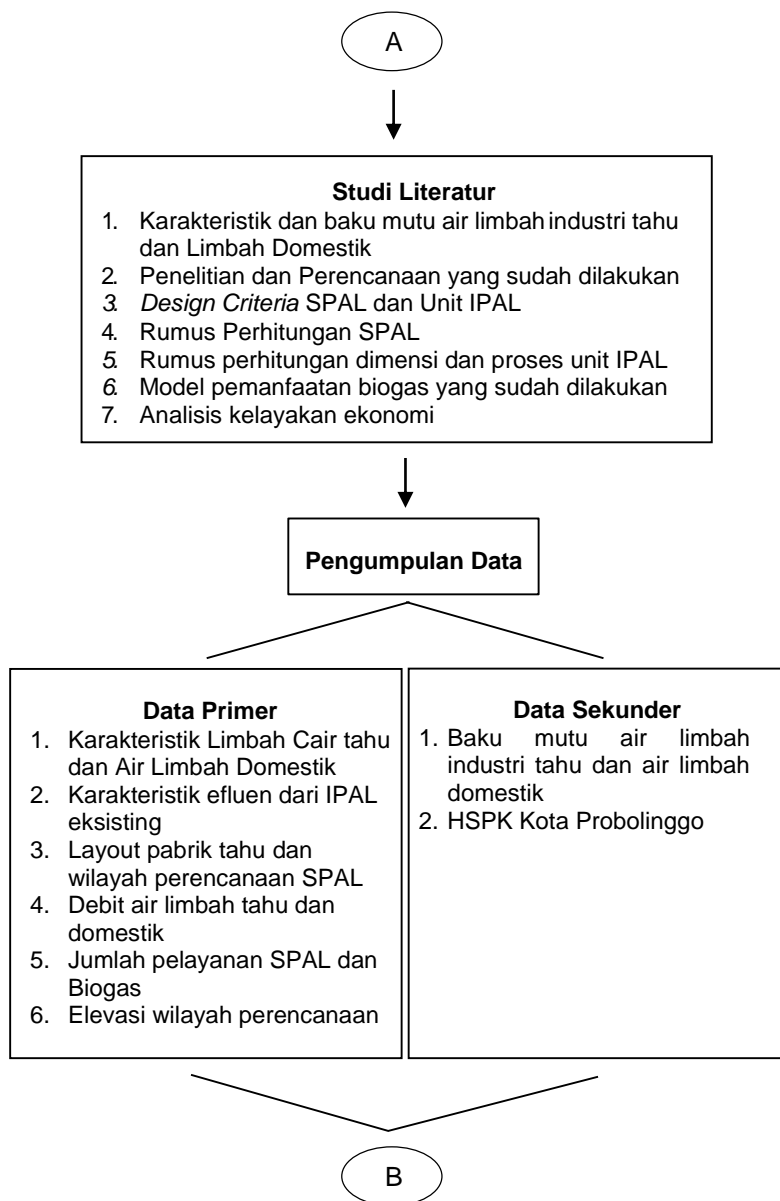
Pada tugas akhir ini dilakukan perencanaan terhadap sistem penyaluran air limbah domestik dan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) tahu di salah satu pabrik tahu di kota Probolinggo. Metode perencanaan ini disusun sebagai pedoman dalam melaksanakan proses perencanaan. Proses perencanaan dimulai dari pengumpulan data primer dan sekunder, perhitungan dimensi SPAL dan unit IPAL, perhitungan potensi dan pemanfaatan biogas yang dihasilkan, serta perhitungan rencana anggaran biaya pembangunan IPAL.

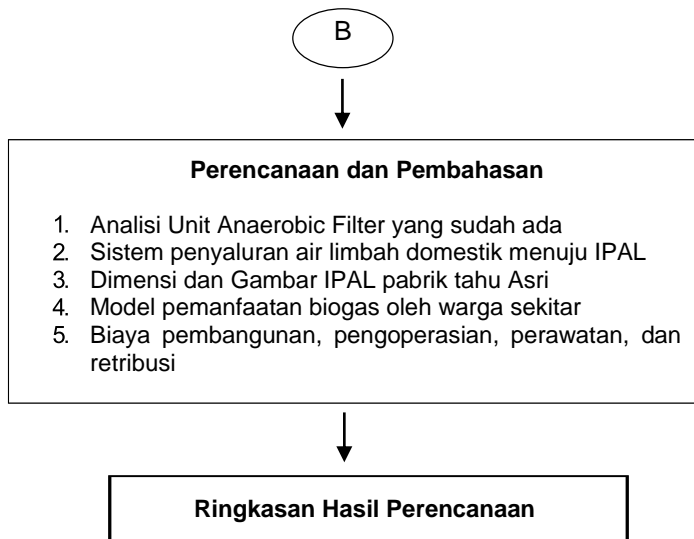
Perencanaan ini menggunakan dua aspek yaitu aspek teknis dan aspek finansial. Parameter perencanaan yaitu BOD, COD, TSS, pH, suhu, N, dan P. Perhitungan potensi biogas yang dihasilkan digunakan untuk merencanakan jumlah KK yang dapat menggunakan biogas sesuai kemampuan biogas yang diproduksi. Perhitungan rencana anggaran biaya (RAB) digunakan untuk merealisasikan unit-unit IPAL, termasuk biaya operasi dan pemeliharaan. Acuan perhitungan RAB adalah SNI-DT-2007 *series* tentang Pekerjaan Bangunan dan Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Probolinggo.

4.2 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan merupakan gambaran awal mengenai alur perencanaan. Penyusunan kerangka perencanaan yang jelas dan sistematis dapat mempermudah dalam proses pelaksanaan perencanaan. Kerangka perencanaan ini berisi tahapan yang dilakukan dalam perencanaan dari awal hingga akhir. Kerangka perencanaan dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.







Gambar 4. 1 Kerangka Perancangan

4.2.1 Ide Perencanaan

Ide perencanaan didapatkan dengan melihat kondisi Eksisting pengolahan limbah di pabrik tahu Asri yang belum sesuai dengan kondisi ideal dalam suatu pengelolaan IPAL. Idealnya suatu pengolahan limbah harus bisa memenuhi baku mutu efluen yang berlaku serta dilakukan pemanfaatan terhadap produk sampingan biogas yang dihasilkan. Kondisi sanitasi di permukiman sekitar khususnya air limbah domestik masih dibuang ke badan air. Sanitasi yang ideal dilakukan proses pengolahan air limbah domestik dan penyalurannya. Permasalahan tersebut memunculkan ide “Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah dan Instalasi Pengolahan Air Limbah Pabrik Tahu serta Pemanfaatan Biogas yang Dihasilkan (Studi Kasus: Pabrik Tahu Asri di Kota Probolinggo)”.

4.2.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan teori tentang topik perencanaan ini sehingga dapat menjadi acuan dalam tugas akhir ini. Studi literatur digunakan dengan cara pencarian

beberapa sumber literatur yang ada. Sumber tersebut berupa jurnal, artikel, *text book*, peraturan dan laporan tugas akhir maupun tesis. Berikut adalah literatur pendukung yang digunakan dalam perencanaan.

1. Karakteristik dan baku mutu air limbah industri tahu dan air limbah domestik
2. Penelitian dan Perencanaan yang sudah dilakukan
3. *Design Criteria* SPAL dan Unit IPAL
4. Rumus Perhitungan SPAL
5. Rumus perhitungan dimensi dan proses unit IPAL
6. Model pemanfaatan biogas yang sudah dilakukan
7. Analisis kelayakan ekonomi

4.3.3 Pengumpulan Data

Pada tugas akhir ini dilakukan pengumpulan data-data yang relevan dan lengkap sehingga dapat dihasilkan perencanaan yang sesuai dengan kondisi lapangan. Pengumpulan data disesuaikan dengan jenis data yang dibutuhkan. Data-data yang dikumpulkan yaitu data primer dan sekunder.

a. Data Primer

Data primer yang diperlukan dalam perencanaan ini terdiri atas karakteristik air limbah serta kondisi eksisting wilayah perencanaan.

1. Sampling dan analisis karakteristik air limbah

Sampling air diperlukan untuk mengetahui karakteristik kimia yang ada dalam air limbah industri tahu dan limbah domestik. Sampling dilakukan secara *grab sampling* dengan cara mengambil contoh air limbah pada saluran pembuangan limbah industri tahu dan saluran air limbah domestik. Sampling dilakukan pada 4 (empat) titik yaitu bak penampung air limbah, efluen IPAL I, efluen bak pendingin 1, dan saluran air limbah domestik. Sampel air limbah, selanjutnya akan diuji untuk mengetahui karakteristik dari limbah cair industri tahu. Karakteristik ini meliputi BOD, COD, TSS, suhu, pH, N, dan P.

2. Survey Kondisi Eksisting di Lapangan

Survey kondisi eksisting yang diperlukan dalam perencanaan ini berkaitan dengan operasional pabrik tahu, layout pabrik tahu dan wilayah permukiman pelayanan

SPAL serta survei ketersediaan warga untuk pelayanan SPAL dan biogas. Data-data tersebut selanjutnya menjadi acuan dalam mendesain SPAL, IPAL, Pemanfaatan biogas, dan kelayakan ekonomi. Survei dilakukan dengan cara pengamatan langsung di lapangan dan wawancara dengan cara melakukan kunjungan ke lokasi perencanaan.

Beberapa data yang diharapkan adalah:

- a. Jam Operasional Pabrik Tahu Asri
- b. Jumlah kedelai yang digunakan dan air limbah tahu yang dihasilkan
- c. Desain dan kapasitas olah IPAL eksisting
- d. Jumlah warga yang direncanakan tersambung SPAL atau biogas sehingga debit air limbah domestik bisa diketahui
- e. Jumlah debit air limbah domestik
- f. Gambaran layout wilayah perencanaan
- g. Elevasi dari wilayah perencanaan
- h. Pendapat masyarakat mengenai pemasangan SPAL dan biogas.

Metode yang digunakan untuk mendapatkan jumlah responden adalah rumus Slovin pada persamaan 4.1 berikut

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \dots\dots\dots 4.1$$

n = jumlah sampel

N = jumlah populasi

e = taraf kesalahan

Penentuan jumlah ukuran responden di masing-masing tempat menggunakan persamaan 4.2 berikut

$$n_i = n \left(\frac{N_i}{N} \right) \dots\dots\dots 4.2$$

n_i = jumlah responden tiap tempat

N = jumlah populasi tiap tempat

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang didapat melalui pihak ketiga, atau bukan merupakan hasil pengamatan langsung di lapangan oleh perencana. Data sekunder yang diperlukan dalam perencanaan dapat berupa dokumen maupun gambar. Data sekunder yang diperlukan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut:

- Baku mutu air limbah industri
Baku mutu effluent air limbah disesuaikan dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013. Peraturan tersebut mengenai Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri dan Usaha Lainnya untuk Industri Pengolahan Kedelai.
- Baku mutu air limbah domestik
Baku mutu efluen air limbah disesuaikan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Rangkaian SNI DT-2007
Rangkaian SNI DT-2007 meliputi beberapa tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan yang berbeda digunakan untuk perhitungan BOQ IPAL.
- Harga Bahan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Probolinggo
Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Probolinggo digunakan sebagai acuan Perhitungan RAB pembangunan IPAL. HSPK ini disesuaikan dengan harga pasar.

4.3.5 Pengolahan Data dan Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah

Perencanaan dilakukan berdasarkan data-data yang telah didapatkan, baik data primer maupun sekunder. Langkah-langkah perencanaan SPAL domestik dan IPAL pabrik tahu Asri yaitu:

- a. Menganalisis kualitas dan kuantitas air limbah domestik dan pabrik tahu Asri
- b. Analisis terhadap kinerja IPAL eksisting
- c. Pembuatan *Engineering Design* sistem penyaluran air limbah domestik ke IPAL
- d. Menggambarkan diagram alir proses pada IPAL
- e. Menyusun *Engineering Design* yang meliputi perhitungan dimensi unit IPAL dan gambar bangunan IPAL
- f. Menghitung kesetimbangan massa (*mass balance*) beban pencemar pada proses IPAL
- g. Merencanakan *layout* bangunan IPAL
- h. Menyusun rencana pemanfaatan biogas meliputi penampungan, pemurnian, dan penyaluran ke warga sekitar pabrik tahu Asri.
- i. Merencanakan profil hidrolis SPAL dan IPAL

- j. Menghitung kelayakan ekonomi berdasarkan biaya pembangunan, biaya pengoperasian, biaya perawatan, biaya retribusi, dan nilai manfaat yang diperoleh

4.3.6 Ringkasan Hasil perencanaan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan didapatkan suatu ringkasan hasil perencanaan yang menjawab tujuan perencanaan. Ringkasan yang dibuat meliputi:

- a. Desain SPAL dan IPAL domestik permukiman kecamatan Mayangan
- b. Desain IPAL pabrik tahu Asri
- c. Program pemanfaatan biogas oleh warga sekitar pabrik tahu Asri
- d. Layak atau tidak layak nya pembangunan SPAL domestik dan IPAL pabrik tahu Asri dari segi ekonomi.

BAB 5

PRA-PERENCANAAN SPALD DAN IPAL PABRIK TAHU

5.1 Wilayah Perencanaan

Wilayah perencanaan dipilih berdasarkan persyaratan teknis kriteria lokasi kegiatan pengelolaan air limbah skala kawasan sesuai Permen PUPR No.4 Tahun 2017 Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik. Persyaratan utama yang harus diperhatikan memiliki kriteria kelayakan sebagai berikut:

1. Lokasi yang berada di wilayah perencanaan memiliki kepadatan penduduk ≥ 15000 jiwa/km².
2. Kedalaman muka air tanah ≥ 2 m bisa menggunakan SPALD Setempat (SPALD-S) atau Terpusat (SPALD-T). Apabila kedalaman muka air tanah ≤ 2 m menggunakan SPALD-T.
3. Kemiringan tanah $\geq 2\%$, apabila tidak memenuhi digunakan teknologi pemompaan.
4. Memiliki permeabilitas tanah efektif 5×10^{-4} m/detik.
5. Kemampuan pembiayaan pengoperasian dan pemeliharaan SPALD.

5.1.1 Wilayah Pelayanan SPAL Kota Probolinggo

Berdasarkan kriteria teknis di atas dan data kepadatan penduduk yang terdapat pada Tabel 3.1, maka semua wilayah kelurahan di kecamatan Mayangan tidak memenuhi kriteria. Kepadatan penduduk di masing-masing kelurahan masih kurang dari 15000 jiwa/km². Wilayah perencanaan yang dipilih adalah permukiman padat yang terdapat di pusat kecamatan Mayangan agar terpenuhi kriteria kepadatan penduduk ≥ 15000 jiwa/km². Permukiman padat di kecamatan Mayangan meliputi sebagian kelurahan Mayangan, Jati, Sukabumi, Mangunharjo, dan Tisnonegaran. Perhitungan jumlah penduduk pada wilayah perencanaan SPALD-T menggunakan pendekatan perbandingan luas permukiman di masing-masing kelurahan. Jumlah penduduk yang masuk wilayah perencanaan disajikan pada tabel 5.1.

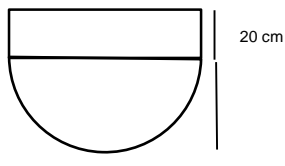
Tabel 5. 1 Jumlah Penduduk Wilayah Perencanaan

No.	Kelurahan	Jumlah Penduduk	% Luas Permukiman	Jumlah Penduduk Perencanaan
		Jiwa	%	Jiwa
1	Jati	13303	36,40	4842
2	Sukabumi	10867	76,81	8347
3	Mangunharjo	20188	69,73	14078
4	Mayangan	11744	92,27	10836
5	Tisnonegaraan	5902	36,17	2135
Jumlah		62004		40238

Sumber: Hasil Perhitungan

5.1.2 Wilayah Pelayanan SPAL dan Biogas Pabrik Tahu Asri

Wilayah perencanaan SPALD di permukiman dekat pabrik tahu Asri memiliki jumlah penduduk 268 jiwa dengan luas wilayah 300 m². Kepadatan penduduknya juga belum memenuhi 15000 jiwa/km² sehingga perencanaan SPALD-S digunakan pada permukiman dekat pabrik tahu Asri. SPALD–S permukiman tersebut akan tersambung dengan IPAL pabrik tahu Asri. Proses pengolahan air limbah domestik bercampur dengan air limbah tahu yang dilakukan dalam IPAL pabrik tahu Asri. Jumlah KK yang dilayani sesuai dengan kemampuan biogas yang dihasilkan IPAL pabrik tahu Asri. Perhitungan jumlah KK yang mampu dilayani biogas hasil pengolahan limbah cair tahu adalah sebagai berikut.



Debit limbah cair tahu diketahui melalui perhitungan berdasarkan volume alat masak tahu dikali jumlah pemasakan

setiap harinya. Alat masak tahu memiliki bentuk berupa tabung yang bagian bawahnya berbentuk setengah bola. Volume alat masak tahu adalah

$$\begin{aligned} V &= V \text{ setengah bola} + V \text{ tabung} \\ &= (1/2 \times 4/3 \times \pi r^3) + (\pi r^2 \times t) \\ &= (1/2 \times 4/3 \times 3,14 \times 0,4^3) + (3,14 \times 0,4^2 \times 0,2) \\ &= 0,1334 \text{ m}^3 + 0,100 \text{ m}^3 \\ &= 0,2334 \text{ m}^3 \\ &= 233,4 \text{ L} \end{aligned}$$

Setiap proses pemasakan tahu membutuhkan kedelai 15 kg. Jumlah limbah yang dihasilkan per kg kedelai adalah

$$\begin{aligned} Q \text{ limbah} &= V \text{ alat masak} / 15 \text{ kg kedelai} \\ &= 233,4 \text{ L} / 15 \text{ kg kedelai} \\ &= 15,56 \text{ L/kg kedelai} \end{aligned}$$

Jumlah kedelai yang dimasak oleh pabrik tahu Asri adalah 1400 kg. Peningkatan jumlah pemakaian kedelai di tahun mendatang diperkirakan mencapai 1600 kg per harinya. Jumlah pemakaian kedelai digunakan untuk menghitung debit air limbah tahu per harinya.

$$\begin{aligned} Q \text{ limbah} &= 15,56 \text{ L/kg kedelai} \times 1600 \text{ kg kedelai/hari} \\ &= 24.896 \text{ L/hari} \\ &\approx 25 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Hasil analisa laboratorium terhadap beban BOD pada air limbah tahu Asri adalah 3426,5 mg/L. Suhu air limbah prabik tahu Asri adalah 42^o C.

➤ Perencanaan yang digunakan:

- Q limbah = 25 m³/hari
- SRT= HRT = 5 hari (T 42^o C)
- bCOD = 1,6 BOD (1,6 - 1,7)
- Removal bCOD 75 %
- Koefisien Yield (Y) = 0,08 kg VSS/kg bCOD *utilized*
- Koefisien Kd (b) = 0,03 hari⁻¹
- Gas methan = 65% biogas

a. Beban bCOD

$$\begin{aligned} \text{Beban bCOD} &= \text{bCOD} \times Q \text{ limbah} \\ &= 1,6 \text{ BOD} \times 25 \text{ m}^3 \\ &= 1,6 \times 3426,5 \text{ mg/L} \times 25 \text{ m}^3 \\ &= 1,6 \times 3,426 \text{ kg/m}^3 \times 25 \text{ m}^3 \\ &= 137 \text{ kg/day} \end{aligned}$$

b. Net mass of cell tissue produced per day, kg/d

$$P_x = \frac{YQ(S_o - s)}{1 + b(SRT)}$$

$$S_o = 1,6 \times 3426,5 \text{ mg/L} = 5481,6 \text{ mg/L} = 5,481 \text{ kg/m}^3$$

$$S = 5,481 \text{ kg/m}^3 (1 - 0,75)$$

$$= 1,6443 \text{ kg/m}^3$$

$$P_x = \frac{0,008 \times 25 \text{ m}^3 (5,481 - 1,6443)}{1 + 0,03(5)}$$

$$P_x = 0,667 \text{ kg/d}$$

c. Volume gas metana yang dihasilkan

$$V_{CH_4} = 0,4 [(S_o - S).Q] - 1,42.P_x$$

$$= 0,4 [(5,481 - 1,6443).25 - 1,42.0,667]$$

$$= 38 \text{ m}^3/\text{hari}$$

d. Kemampuan pelayanan biogas

Diketahui jumlah energi yang dihasilkan dari pembakaran 1 meter kubik (m^3) CH_4 adalah 9,67 kWh atau setara dengan nilai kalor yang dimiliki 0,71 kg elpiji. Jumlah pemakaian tabung LPG 3 kg rata-rata tiap rumah adalah 4 buah/bulan.

X = Jumlah rumah yang mampu dilayani

$$X = \frac{V_{\text{metana}} \times 0,71 \text{ kg elpiji} \times 30 \text{ hari}}{3 \text{ kg LPG} \times 4 \text{ buah}/30 \text{ hari}}$$

$$X = 67,45 \text{ rumah}$$

Perencanaan jumlah rumah yang mendapatkan pelayanan SPALD-S adalah sama dengan kemampuan pelayanan biogas yaitu 67 rumah.

5.2 Analisa Hasil Kuisioner dan Wawancara

Wawancara dan penyebaran kuisioner dilakukan untuk mengetahui pendapat masyarakat terkait pembangunan SPALD dan penyaluran biogas. Debit air bersih untuk menentukan debit air limbah yang dihasilkan berdasarkan data rekening pembayaran pdam masyarakat. Perhitungan jumlah responden menggunakan rumus Slovin sesuai persamaan 4.1 dengan tingkat kesalahan 10%. Besarnya sampel ditentukan menggunakan satuan rumah atau KK. Permukiman padat di kota Probolinggo memiliki penduduk sebesar 40.238 jiwa dengan rata-rata anggota keluarga sebesar 3,97 jiwa/ KK sehingga didapatkan jumlah KK sebagai berikut.

- Total jumlah KK di permukiman padat kota Probolinggo

$$= \frac{40.238 \text{ jiwa}}{3,97 \text{ jiwa/KK}} = 10135,51 \text{ KK} \approx 10136 \text{ KK}$$

- Jumlah KK untuk dilakukan survei dengan rumus Slovin pada persamaan 4.1 di permukiman padat kota Probolinggo

$$\eta = \frac{N}{1+Ne^2} = \frac{10136}{1+10136(0,1)^2} = 99,3 \text{ KK} \approx 100 \text{ KK}$$

Wawancara dan penyebaran kuisioner dilakukan di lima kelurahan yang masuk wilayah perencanaan. Jumlah responden pada masing kelurahan menggunakan persamaan 4.2. Contoh perhitungan pada kelurahan Mayangan dengan jumlah populasi 10836 jiwa atau 2709 KK adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} n_i &= n \left(\frac{N_i}{N} \right) \\ &= 100 \left(\frac{2709}{10136} \right) \\ &= 27 \text{ responden} \end{aligned}$$

Data responden selengkapnya tertera pada tabel 5.2 berikut

Tabel 5. 2 Jumlah Responden per Kelurahan

No.	Kelurahan	Jumlah Penduduk	Jumlah Penduduk	Jumlah Responden
		Jiwa	KK	KK
1	Jati	4842	1220	12
2	Sukabumi	8347	2103	21
3	Mangunharjo	14078	3546	35
4	Mayangan	10836	2730	27
5	Tisnonegaraan	2135	538	5
Jumlah		40238	10136	100

Sumber: Hasil Perhitungan

- Jumlah KK untuk dilakukan survei dengan rumus Slovin pada permukiman dekat pabrik tahu Asri

$$\eta = \frac{N}{1+Ne^2} = \frac{67}{1+67(0,1)^2} = 40 \text{ KK}$$

5.2.1 Hasil Kuisioner dan Wawancara SPALD-T

a. Profil Responden

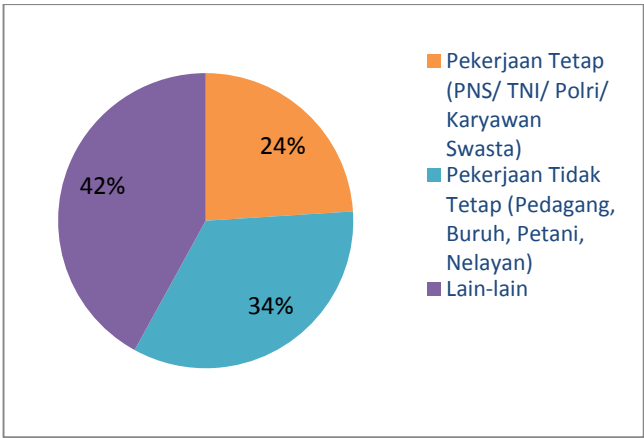
Survei di masing-masing kelurahan didapatkan data profil masyarakat setempat seperti jumlah anggota keluarga dalam satu rumah, umur, pendidikan, pekerjaan, dan penghasilan. Hasil survei dapat dilihat pada Tabel 5. – 5. dan Gambar 5.1 – 5. .

Tabel 5. 3 Jenis Kelamin dan Umur Responden

Jenis Kelamin	Umur				Jumlah
	<17	17-25	26-45	>45	
Laki-laki	0	0	18	21	39
Perempuan	0	6	36	19	61
Jumlah	0	6	54	40	100

Sumber: Hasil Survei

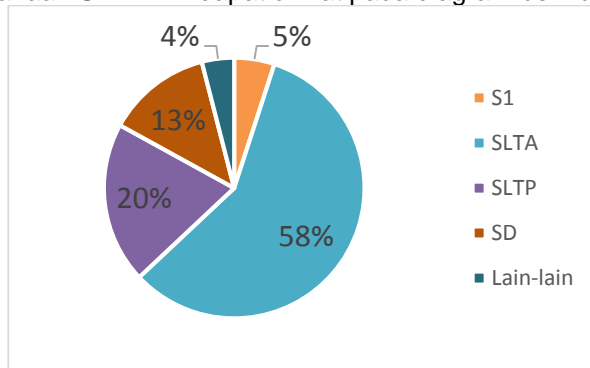
Profil umur responden lebih dari 50% didominasi usia (26-45 tahun) dan disusul dengan responden berumur lebih dari 45 tahun. Responden yang disurvei menjabat sebagai kepala keluarga atau ibu rumah tangga. Jawaban survei mereka diharapkan mampu mempresentasikan gambaran sikap keluarga terhadap survei yang dilakukan.



Gambar 5. 1 Komposisi Pekerjaan di Wilayah Perencanaan SPALD-T

Diagram di atas menunjukkan bahwa komposisi pekerjaan di kelurahan Mayangan, Sukabumi, Jati, Mangunharjo, dan Tisnonegaraan didominasi oleh lain-lain. Jenis pekerjaan yang masuk lain-lain meliputi penjahit, tukang, serabutan, sopir, dll. Komposisi pekerjaan terbanyak kedua adalah pekerjaan tidak tetap dan paling sedikit adalah pekerjaan tetap.

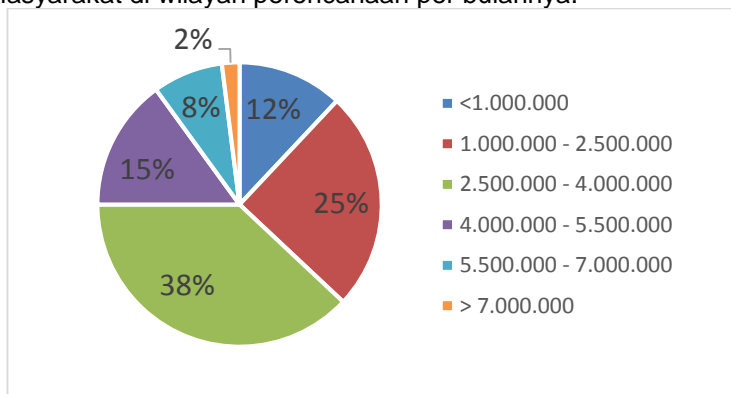
Tingkat pendidikan yang dimiliki oleh masyarakat di wilayah perencanaan SPALD-T dapat dilihat pada diagram berikut



Gambar 5. 2 Komposisi Pendidikan Masyarakat di Wilayah Perencanaan SPALD-T

Diagram di atas menunjukkan bahwa lebih dari 50% tingkat pendidikan masyarakat di wilayah perencanaan adalah SLTA sederajat.

Hasil survei selanjutnya didapatkan rata-rata pendapatan masyarakat di wilayah perencanaan per bulannya.



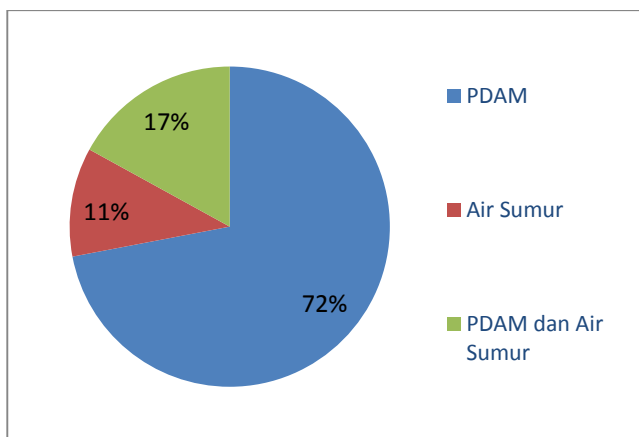
Gambar 5. 3 Jumlah Penghasilan Masyarakat di Wilayah Perencanaan SPALD-T

Berdasarkan diagram di atas, rata-rata pendapatan masyarakat di wilayah perencanaan dibawah 5.500.000. Hal ini mengindikasikan bahwa mayoritas masyarakat di wilayah perencanaan SPALD-T berada di kalangan menengah ke bawah.

b. Ketersediaan Sarana Sanitasi dan Sumber Air Bersih

Survei ketersediaan sarana sanitasi di wilayah perencanaan SPALD-T meliputi sumber air bersih yang digunakan, tempat pembuangan limbah domestik, ketersediaan jamban dan tangki septik, serta durasi pengurasan tangki septik.

Hasil survei terhadap jenis sumber air bersih yang digunakan oleh masyarakat di wilayah perencanaan SPALD-T dapat dilihat pada diagram berikut



Gambar 5. 4 Sumber Air Bersih yang Digunakan Masyarakat Di Wilayah Perencanaan SPALD-T

Berdasarkan diagram di atas diketahui bahwa 72% masyarakat menggunakan air PDAM sebagai sumber air bersih utama. Namun masih terdapat masyarakat yang menggunakan air sumur sebanyak 11% dan 17% menggunakan dua jenis sumber air. Responden yang menggunakan air PDAM dapat dilakukan pengumpulan data rekening air bersih untuk mengetahui pemakaian air bersih per bulannya. Data pemakaian air bersih disajikan dalam Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5. 4 Data Pemakaian Air Bersih Masyarakat di Wilayah Perencanaan SPALD-T

No.	Nama	Per Bulan		Per Hari (L)	AK	per Orang (L)
		(m ³)	(L)			
1	Susilowati	13	13000	433,33	3	144,44
2	Indra	32	32000	1066,67	6	177,78
3	Sulaiman	11	11000	366,67	3	122,22
4	Rutini	23	23000	766,67	5	153,33
5	Candra	18	18000	600,00	4	150,00
6	Herman	25	25000	833,33	5	166,67
7	Mulyani	35	35000	1166,67	6	194,44

No.	Nama	Per Bulan		Per Hari (L)	AK	per Orang (L)
		(m ³)	(L)			
8	Susiana	14	14000	466,67	3	155,56
9	Wibowo	38	38000	1266,67	7	180,95
10	Harsono	27	27000	900,00	6	150,00
11	Endang	17	17000	566,67	4	141,67
12	Sunarti	15	15000	500,00	3	166,67
13	Ratna	23	23000	766,67	5	153,33
14	Taufik	22	22000	733,33	4	183,33
15	Bambang	13	13000	433,33	3	144,44
16	Mamik	19	19000	633,33	4	158,33
17	Saropah	20	20000	666,67	5	133,33
18	Hidayat	34	34000	1133,33	6	188,89
19	Nanik	18	18000	600,00	4	150,00
20	Said	15	15000	500,00	3	166,67
21	Gatot	11	11000	366,67	2	183,33
22	Nurul	17	17000	566,67	4	141,67
23	Musripah	20	20000	666,67	4	166,67
24	Mulyanah	32	32000	1066,67	6	177,78
25	Purwo	14	14000	466,67	3	155,56
26	Yanti	21	21000	700,00	4	175,00
27	Wiwik	17	17000	566,67	3	188,89
28	Muksin	21	21000	700,00	4	175,00
29	Susiani	14	14000	466,67	3	155,56
30	Budianto	19	19000	633,33	4	158,33
31	Elok	17	17000	566,67	4	141,67
32	Tatik	15	15000	500,00	3	166,67
33	Sutikno	24	24000	800,00	5	160,00

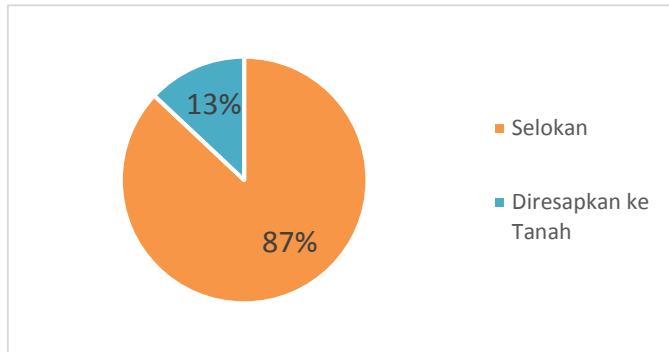
No.	Nama	Per Bulan		Per Hari (L)	AK	per Orang (L)
		(m ³)	(L)			
34	Linggarwati	10	10000	333,33	2	166,67
35	Hariyono	29	29000	966,67	6	161,11
36	Harmin	22	22000	733,33	4	183,33
37	Sri	28	28000	933,33	5	186,67
38	Supiyah	13	13000	433,33	3	144,44
39	Iswati	14	14000	466,67	3	155,56
40	Suharmi	13	13000	433,33	3	144,44
41	Maimunah	14	14000	466,67	3	155,56
42	Wati	18	18000	600,00	4	150,00
43	Rukiyah	13	13000	433,33	3	144,44
44	Sulastri	23	23000	766,67	5	153,33
45	Sumiati	24	24000	800,00	4	200,00
46	Warman	15	15000	500,00	3	166,67
47	Herry	13	13000	433,33	3	144,44
48	Tanirah	19	19000	633,33	4	158,33
49	Indah	13	13000	433,33	3	144,44
50	Haris	14	14000	466,67	3	155,56
51	Lilik	19	19000	633,33	4	158,33
52	Mulyani	17	17000	566,67	4	141,67
53	Eva	19	19000	633,33	4	158,33
54	Rahma	24	24000	800,00	5	160,00
55	Tulatmi	14	14000	466,67	3	155,56
56	Khoiriyah	15	15000	500,00	3	166,67
57	Lasiran	25	25000	833,33	5	166,67
58	Puput	14	14000	466,67	3	155,56
59	Rukmini	15	15000	500,00	3	166,67

No.	Nama	Per Bulan		Per Hari (L)	AK	per Orang (L)
		(m ³)	(L)			
60	Rahayu	14	14000	466,67	3	155,56
61	Nur	23	23000	766,67	5	153,33
62	Wahyu	31	31000	1033,33	6	172,22
63	Ismi	12	12000	400,00	3	133,33
64	Yayuk	18	18000	600,00	4	150,00
65	Ningsih	14	14000	466,67	3	155,56
66	Yusna	19	19000	633,33	4	158,33
67	Kholik	25	25000	833,33	5	166,67
68	Solikha	20	20000	666,67	4	166,67
69	Luluk	30	30000	1000,00	6	166,67
70	Santoso	13	13000	433,33	3	144,44
71	Setyo	24	24000	800,00	5	160,00
72	Lis	13	13000	433,33	3	144,44
Rata Pemakaian Air per Orang						159,72

Sumber: Hasil Survei

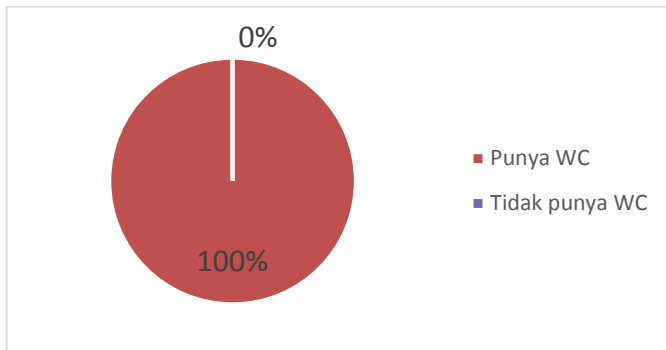
Tabel di atas menunjukkan pemakaian air bersih rata-rata orang per harinya adalah 159,72 L/hari. Data pemakaian air ini akan digunakan untuk mencari debit limbah domestik di wilayah perencanaan.

Kondisi sanitasi dalam hal air limbah domestik di wilayah perencanaan SPALD-T dapat dilihat pada Gambar 5.5 – 5.8



Gambar 5. 5 Pembuangan Air Limbah Domestik di Wilayah Perencanaan SPALD-T

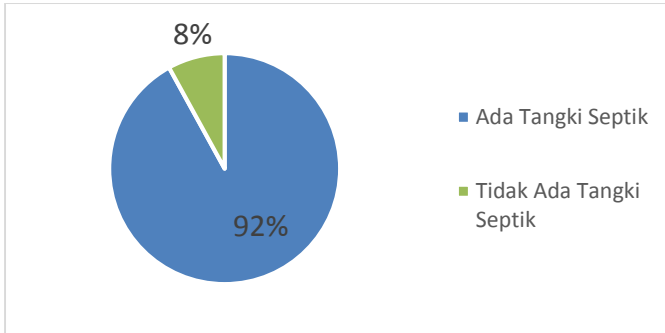
Diagram di atas menunjukkan bahwa masyarakat di Kecamatan Mayangan mayoritas atau 87% membuang air limbah domestik ke saluran drainase. Hanya 13% saja yang diresapkan ke dalam tanah. Hal ini dapat membahayakan lingkungan karena air limbah domestik masih memiliki beban pencemar yang dapat menurunkan daya dukung lingkungan.



Gambar 5. 6 Ketersediaan WC Pribadi di Wilayah Perencanaan SPALD-T

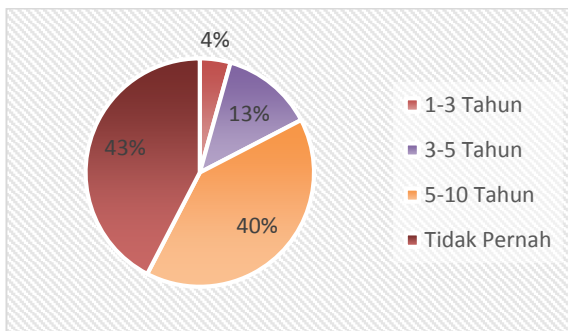
Pada Gambar 5.6 terkait ketersediaan WC atau jamban di rumah responden menunjukkan semua rumah sudah memiliki jamban

sendiri. Kepemilikan jamban pribadi tersebut diharapkan agar masyarakat dapat melakukan aktivitas kakus secara sehat.



Gambar 5. 7 Kepemilikan Tangki Septik di Wilayah Perencanaan SPALD-T

Ketersediaan jamban pribadi di rumah ternyata masih belum menjamin kondisi lingkungan sekitar. Berdasarkan Gambar 5.7 di atas, masih ada 8% responden yang belum memiliki tangki septik untuk menampung kakus atau *blackwater*. Bagi yang tidak memiliki tangki septik mereka beralasan tidak punya banyak biaya untuk membangun tangki septik.



Gambar 5. 8 Durasi Pengurusan Tangki Septik di Wilayah Perencanaan SPALD-T

Dari 92% responden yang memiliki tangki septik, hanya 57% responden yang pernah melakukan pengurusan tangki septik. Masih ada 43% responden yang belum pernah melakukan

pengurasan tangki septik. Mereka beralasan hanya melakukan pengurasan bila seandainya WCnya tersumbat atau banjir.

c. Penilaian Sikap Masyarakat

Sikap masyarakat dinilai melalui perhitungan menggunakan rumus Likert yang merupakan skala untuk mengukur persepsi, sikap atau pendapat seseorang. Pertanyaan yang diajukan untuk mengetahui sikap masyarakat terkait rencana pembangunan SPALD-T di Kecamatan Mayangan. Perhitungan dengan skala Likert sebagai berikut.

1. Pendapat Masyarakat terhadap Pencemaran Lingkungan Oleh Air Limbah Domestik

Tabel 5. 5 Perhitungan Skala Likert 1

Poin	Bobot	Jumlah	Skor
Sangat Setuju	5	12	60
Setuju	4	43	172
Netral	3	37	111
Tidak Setuju	2	8	16
Sangat Tidak Setuju	1	0	0
Total		100	359

Sumber: Hasil Survei

Langkah awal perhitungan dengan rumus Likert adalah mengumpulkan data dan bobot dari tiap poin.

1. Responden yang menjawab sangat setuju (skor 5) berjumlah 12 orang.
2. Responden yang menjawab setuju (skor 4) berjumlah 43 orang.
3. Responden yang menjawab netral (skor 3) berjumlah 37 orang.
4. Responden yang menjawab tidak setuju (skor 2) berjumlah 8 orang.
5. Responden yang menjawab sangat tidak setuju (skor 1) berjumlah 0 orang.

Langkah kedua menghitung skor dengan mengalikan bobot dan jumlah dari tiap poin sebagai berikut.

Rumus: $T \times P_n$(5.1)

T = Total jumlah responden yang memilih

P_n = Pilihan angka skor Likert

Perhitungan dengan rumus diatas didapatkan hasil berikut.

1. Responden yang menjawab sangat setuju (5) = $12 \times 5 = 60$
2. Responden yang menjawab setuju (4) = $43 \times 4 = 172$
3. Responden yang menjawab netral (3) = $37 \times 3 = 111$
4. Responden yang menjawab tidak setuju (2) = $8 \times 2 = 16$
5. Responden yang menjawab sangat tidak suka (1)
= $0 \times 1 = 0$

Semua hasil dijumlahkan, total skor = 359

Hasil dari skala Likert adalah interpretasi, terlebih dahulu harus diketahui skor tertinggi (X) dan skor terendah (Y) untuk item penilaian dengan rumus sebagai berikut:

Y = skor tertinggi likert x jumlah responden

X = skor terendah likert x jumlah responden

Jumlah skor tertinggi untuk poin "Sangat Setuju" adalah $5 \times 100 = 495$, sedangkan item "Sangat Tidak Setuju" adalah $1 \times 100 = 100$. Jadi, jika total skor penilaian responden diperoleh angka 359 maka penilaian interpretasi tersebut adalah hasil nilai yang dihasilkan dengan menggunakan rumus Index %.

Rumus Index % = $\text{Total Skor} / Y \times 100$(5.2)

Perhitungan dengan rumus index didapatkan hasil berikut

= Total skor / Y x 100

= $359 / 500 \times 100$

= 71,80%

Kriteria interpretasi skornya berdasarkan interval disajikan dalam Tabel 5.6 berikut

Tabel 5. 6 Interval Presentasi Nilai Skala Likert

Tabel Presentasi Nilai	Keterangan
0% - 19,99%	Sangat Tidak Setuju
20% - 39,99%	Tidak Setuju
40% - 59,99%	Netral
60% - 79,99%	Setuju
80% - 100%	Sangat Setuju

Perhitungan diatas dapat didapatkan rumus index dengan hasil 71,80%. Berdasarkan presentasi nilai skala Likert pada tabel 5.6 masyarakat kecamatan Mayangan “Setuju” bahwa air limbah domestik mencenari lingkungan.

2. Ketersediaan Air Limbah Dikelola secara Komunal

Tabel 5. 7 Perhitungan Skala Likert 2

Poin	Bobot	Jumlah	Skor
Sangat Setuju	5	17	85
Setuju	4	32	128
Netral	3	38	114
Tidak Setuju	2	13	26
Sangat Tidak Setuju	1	0	0
Total		100	353

Sumber: Hasil Survei

Ketersediaan air limbah dikelola secara komunal dari hasil perhitungan sebesar 70,60% dan berdasarkan presentasi nilai skala Likert dikategorikan masyarakat kecamatan Mayangan “Setuju” untuk air limbah rumah tangga dikelola secara komunal/ bersama-sama.

3. Partisipasi Pemeliharaan Sarana Pengolahan Air Limbah

Tabel 5. 8 Perhitungan Skala Likert 3

Poin	Bobot	Jumlah	Skor
Sangat Setuju	5	3	15
Setuju	4	34	136
Netral	3	46	138
Tidak Setuju	2	17	34
Sangat Tidak Setuju	1	0	0
Total		99	100

Sumber: Hasil Survei

Partisipasi masyarakat terhadap pemeliharaan sarana pengolahan air limbah dari hasil perhitungan sebesar 64,60% dan berdasarkan presentasi nilai skala Likert dikategorikan masyarakat kecamatan Mayangan “Setuju” untuk bersama-sama memelihara sarana pengolahan air limbah.

4. Kesiediaan Masyarakat Membayar Retribusi

Tabel 5. 9 Perhitungan Skala Likert 4

Poin	Bobot	Jumlah	Skor
Sangat Setuju	5	3	15
Setuju	4	28	112
Netral	3	54	162
Tidak Setuju	2	15	30
Sangat Tidak Setuju	1	0	0
Total		99	100

Sumber: Hasil Survei

Kesiediaan masyarakat terhadap membayar retribusi sarana pengolahan air limbah dari hasil perhitungan sebesar 63,80% dan berdasarkan presentasi nilai skala Likert dikategorikan masyarakat kecamatan Mayangan “Setuju” untuk turut membayar retribusi sarana pengolahan air limbah.

5.2.1 Hasil Kuisioner dan Wawancara SPALD-S dan Biogas

Survei dilakukan guna mendapatkan respon masyarakat sekitar pabrik tahu Asri terhadap rencana pengelolaan limbah domestik dan penyaluran biogas. Hasil survei pada masyarakat sekitar pabrik tahu Asri dapat dilihat pada Tabel 5.10 – 5.19.

Tabel 5. 10 Jenis Pekerjaan Masyarakat Sekitar Pabrik Tahu Asri

Komposisi	Jumlah
Pekerjaan Tetap (PNS/ TNI/ Polri/ Karyawan Swasta)	5
Pekerjaan Tidak Tetap (Pedagang, Buruh, Petani)	21
Lain-lain	14
Jumlah	40

Sumber: Hasil Survei

Survei yang dilakukan kepada 40 orang responden didapatkan data bahwa mayoritas responden memiliki pekerjaan tidak tetap. Hanya 5 responden yang memiliki pekerjaan tetap.

Tabel 5. 11 Jumlah Anggota Keluarga

Komposisi	Jumlah	Jumlah Penduduk
2 Keluarga	2	4
3 Keluarga	13	39
4 Keluarga	15	60
5 Keluarga	6	30
6 Keluarga	4	24
Jumlah	40	157
Rata-rata	3,925	

Sumber: Hasil Survei

Rata-rata jumlah anggota keluarga di permukiman dekat pabrik tahu Asri adalah 4 orang per KK. Jumlah keluarga didominasi 3 dan 4 orang dalam satu keluarga. Hanya beberapa kecil keluarga yang jumlah anggota keluarga lebih kecil atau lebih besar dari 4.

Tabel 5. 12 Bahan Bakar yang Digunakan

Komposisi	Jumlah
LPG	36
Kayu Bakar	4
Jumlah	40

Sumber: Hasil Survei

Bahan bakar yang digunakan oleh mayoritas masyarakat di sekitar pabrik tahu Asri adalah gas LPG. Sebanyak 36 responden menggunakan gas LPG 3kg dalam kegiatan memasak sehari-hari. Hanya 4 responden yang menggunakan kayu bakar sebagai bahan bakar memasak. Permukiman warga masih banyak ditumbuhi pohon dan dekat dengan sawah sehingga kayu bakar masih mudah dicari.

Tabel 5. 13 Kebutuhan LPG 3kg per Bulannya

Komposisi	Jumlah
3 LPG	11
4 LPG	17
5 LPG	8
Jumlah	36

Sumber: Hasil Survei

Rata-rata penggunaan tabung gas LPG 3kg setiap bulannya adalah 4 buah. Kebutuhan tabung gas LPG 3kg berbeda setiap keluarga karena kebutuhan memasak yang berbeda juga.

Tabel 5. 14 Sumber Air Bersih yang Digunakan

Komposisi	Jumlah
Air PDAM	21
Air Sumur	15
Air Sumur dan PDAM	4
Jumlah	40

Sumber: Hasil Survei

Sumber air bersih yang digunakan oleh sebagian besar responden adalah air PDAM. Penggunaan air sumur oleh

responden juga banyak karena kualitas dan kuantitas air tanah di permukiman masih baik.

Tabel 5. 15 Sarana Pembuangan Air Limbah Domestik

Komposisi	Jumlah
Selokan	29
Diresapkan ke Tanah	11
Jumlah	40

Sumber: Hasil Survei

Air limbah domestik yang dihasilkan dari aktivitas sehari-hari oleh sebagian besar responden disalurkan ke dalam got atau drainase. Untuk responden yang memiliki kebun atau lahan luas air limbah domestik nya diresapkan ke dalam tanah.

Tabel 5. 16 Ketersedian WC di Rumah

Komposisi	Jumlah
Punya WC	40
Tidak punya WC	0
Jumlah	40

Sumber: Hasil Survei

Ketersediaan WC atau jamban di rumah responden bisa dikatakan baik. Tidak ada responden yang tidak memiliki jamban di rumahnya.

Tabel 5. 17 Ketersedian Tangki Septik

Komposisi	Jumlah
Ada Tangki Septik	34
Tidak Ada Tangki Septik	6
Jumlah	40

Sumber: Hasil Survei

Ketersediaan jamban atau WC di masing-masing rumah responden ternyata tidak semua dibangun tangki septik. Masih ada 6 responden yang tidak memiliki tangki septik.

Tabel 5. 18 Durasi Pengurasan Tangki Septik

Komposisi	Jumlah
1-3 Tahun	0
3-5 Tahun	0
5-10 Tahun	12
Tidak Pernah	26
Jumlah	36

Sumber: Hasil Survei

Dari 36 responden yang memiliki tangki septik hanya 12 responden yang pernah melakukan pengurasan. Durasi pengurasannya pun dalam rentang 5-10 tahun sekali. Mayoritas responden juga belum pernah melakukan pengurasan tangki septik sebelumnya.

Tabel 5. 19 Ketersediaan Ikut Program SPALD-S dan Biogas

Komposisi	Jumlah
Bersedia	21
Menunggu Informasi Lanjutan	15
Tidak Bersedia	4
Jumlah	40

Sumber: Hasil Survei

Respon masyarakat di permukiman dekat pabrik tahu Asri terkait pemasangan SPALD-S dan Biogas sebagian besar bersedia dilakukan pemasangan. Sebanyak 21 responden bersedia dan 15 responden menunggu sosialisasi lebih lanjut.

5.3 Proyeksi Penduduk

Proyeksi penduduk hanya dilakukan pada wilayah perencanaan SPALD-T. Proyeksi dilakukan sesuai dengan Permen PUPR No.4 Tahun 2017 Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik yaitu 20 tahun periode perencanaan. Tahun proyeksi dimulai 2 tahun setelah proses desain dan konstruksi yaitu tahun 2020-2039. Dalam perhitungan proyeksi penduduk, terdapat tiga metode proyeksi yang dapat digunakan. Ketiga metode tersebut yaitu metode aritmatik,

geometrik, dan *least square*. Dari ketiga metode tersebut kemudian dicari koefisien korelasinya terlebih dahulu untuk mencari metode mana yang akan digunakan untuk menghitung proyeksi penduduk.

Koefisien korelasi dari ketiga metode tersebut dipilih yang mendekati 1 (grafik linier) sehingga dapat ditentukan metode/rumus mana yang akan digunakan menghitung proyeksi penduduk kecamatan Mayangan.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\{[n(\sum y^2) - (\sum y)^2][n(\sum x^2) - (\sum x)^2]\}^{1/2}} \dots\dots\dots 5.3$$

Data yang digunakan adalah jumlah penduduk kecamatan Mayangan 10 tahun terakhir mulai dari tahun 2007-2016. Data kependudukan 10 tahun terakhir kecamatan Mayangan dapat dilihat pada Tabel.20 berikut

Tabel 5. 20 Data Penduduk Kecamatan Mayangan 2007-2016

Tahun	Jumlah (jiwa)	Pertumbuhan (jiwa)	Presentase(%)
2007	59643	0	0
2008	60095	452	0,758
2009	60468	373	0,621
2010	60918	450	0,744
2011	61304	386	0,634
2012	62064	760	1,240
2013	62132	68	0,110
2014	62162	30	0,048
2015	62359	197	0,317
2016	62653	294	0,471
Jumlah	613798	3010	4,942
Rata-rata	61379,8	301	0,494
Standar Deviasi			0,387
Standar Deviasi Maksimum			0,881
Standar Deviasi Minimum			0,107

Sumber: Kecamatan Mayangan Dalam Angka 2008-2016

Cara Perhitungan:

Pertumbuhan Penduduk

$$= (\sum \text{penduduk}(n+1) - \sum \text{penduduk}(n))$$

Misal: tahun 2009 \rightarrow Pertumbuhan = 60648 – 60095 = 373

Prosentase Pertumbuhan

$$= \frac{\text{pertumbuhan penduduk}(n)}{\sum \text{penduduk tahun ke } (n-1)} \times 100\%$$

Misal: tahun 2009 \rightarrow Presentase = $\frac{373}{60095} \times 100 = 0,621\%$

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung rata-rata persentase pertambahan penduduk (r) adalah sebagai berikut :

$$r = \frac{\sum \text{Pertumbuhan Penduduk Tiap Tahun}}{\sum \text{tahun}} \times 100\%$$
$$= 0,494\%$$

Standar deviasi dihitung untuk membatasi data mana yang akan digunakan. Dari hasil perhitungan didapatkan standar deviasi % pertumbuhan penduduk sebesar 0,387%. Dari nilai tersebut, maka batas maksimal dan minimum nilai % pertumbuhan penduduk sebagai berikut:

$$\text{Batas maksimal} = (0,494 + 0,387) \% = 0,881\%$$

$$\text{Batas minimal} = (0,494 - 0,387) \% = 0,107\%$$

Maka data yang dapat digunakan dalam perhitungan proyeksi adalah tahun 2007-2011.

5.3.1 Pemilihan Metode Proyeksi

a. Metode Aritmatika

Metode ini sesuai untuk daerah dengan perkembangan penduduk yang selalu naik secara konstan, dan dalam kurun waktu yang pendek. Perhitungan proyeksi penduduk dengan metode Aritmatika dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P_n = P_o + r(dn)$$

Dimana:

P_n = jumlah penduduk pada akhir tahun periode

P_o = jumlah penduduk pada awal proyeksi

r = rata-rata pertambahan penduduk tiap tahun

dn = kurun waktu proyeksi

Perhitungan Koefisien korelasi (r) dengan metode aritmatik menggunakan rumus :

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\{[n(\sum y^2) - (\sum y)^2]x[n(\sum x^2) - (\sum x)^2]\}^{1/2}}$$

Keterangan :

X = urutan tahun

Y = pertambahan penduduk

X² = urutan tahun dikuadratkan

Y² = pertambahan penduduk dikuadratkan

n = jumlah data

Nilai Koefisien korelasi (r) dengan metode aritmatika dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut

Tabel 5. 21 Nilai Koefisien Kolerasi Metode Aritmatika

Tahun	Jumlah Penduduk	Metode Aritmatika				
		X	Y	X.Y	X ²	Y ²
2007	59643	1	0	0	1	0
2008	60095	2	452	904	4	204304
2009	60468	3	373	1119	9	139129
2010	60918	4	450	1800	16	202500
2011	61304	5	386	1930	25	148996
Jumlah	302428	15	1661	5753	55	694929
r						0,88436

Sumber: Hasil Perhitungan

$$r = \frac{5(5753) - (5)(1661)}{\{[5(694929) - (1661)^2]x[5(55) - (15)^2]\}^{1/2}}$$

$$= \mathbf{0.88436}$$

b. Metode Geometrik

Proyeksi dengan metoda ini menganggap bahwa perkembangan penduduk secara otomatis berganda, dengan pertambahan penduduk. Metoda ini tidak memperhatikan adanya suatu saat terjadi perkembangan menurun dan kemudian mantap, disebabkan kepadatan penduduk mendekati maksimum. Perhitungan proyeksi penduduk dengan metode Geometri dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_n = P_o * (1 + r)^{dn}$$

Dimana :

P_o = Jumlah Penduduk mula-mula

P_n = Penduduk tahun n

dn = kurun waktu

r = rata-rata prosentase tambahan penduduk pertahun

Perhitungan Koefisien korelasi (r) dengan metode geometrik menggunakan rumus :

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\{[n(\sum y^2) - (\sum y)^2]x[n(\sum x^2) - (\sum x)^2]\}^{1/2}}$$

Keterangan :

X = urutan tahun

Y = ln jumlah penduduk

X² = urutan tahun dikuadratkan

Y² = ln jumlah penduduk di kuadratkan

N = jumlah data

Nilai Koefisien korelasi (r) dengan metode aritmatika dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut

Tabel 5. 22 Nilai Koefisien Kolerasi Metode Geometrik

Tahun	Jumlah Penduduk	Metode Geometrik				
		X	Y	X.Y	X ²	Y ²
2007	59643	1	10,99613	10,99613	1	120,9149
2008	60095	2	11,00368	22,00736	4	121,081
2009	60468	3	11,00987	33,02961	9	121,2172
2010	60918	4	11,01728	44,06914	16	121,3805
2011	61304	5	11,0236	55,118	25	121,5198
Jumlah	302428	15	55,05057	165,2202	55	606,1135
r						0,83274

Sumber: Hasil Perhitungan

$$r = \frac{5(165,2202) - (15)(165,2202)}{\{[5(606,1135) - (55,0505)^2]x[5(55) - (15)^2]\}^{1/2}}$$

$$= 0.83274$$

c. Metode Least Square

Metoda ini digunakan untuk garis regresi linier yang berarti bahwa data perkembangan penduduk masa lalu menggambarkan kecenderungan garis linier. Perhitungan proyeksi penduduk dengan metode Least Square dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_n = a + (bt)$$

Dimana :

t = tambahan tahun terhitung dari tahun dasar

$$a = \{(\sum p)(\sum t^2) - (\sum t)(\sum p.t)\} / \{n(\sum t^2) - (\sum t)^2\}$$

$$b = \{n(\sum p.t) - (\sum t)(\sum p)\} / \{n(\sum t^2) - (\sum t)^2\}$$

Perhitungan Koefisien korelasi (r) dengan metode Least Square menggunakan rumus :

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\{[n(\sum y^2) - (\sum y)^2][n(\sum x^2) - (\sum x)^2]\}^{1/2}}$$

Keterangan :

Y = jumlah penduduk

X² = urutan tahun dikuadratkan

Y² = jumlah penduduk dikuadratkan

Nilai Koefisien korelasi (r) dengan metode aritmatika dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut

Tabel 5. 23 Nilai Koefisien Kolerasi Least Square

Tahun	Jumlah Penduduk	Metode Least Square				
		X	Y	X.Y	X ²	Y ²
2007	59643	1	59643	59643	1	3557287449
2008	60095	2	60095	120190	4	3611409025
2009	60468	3	60468	181404	9	3656379024
2010	60918	4	60918	243672	16	3711002724
2011	61304	5	61304	306520	25	3758180416
Jumlah	302428	15	302428	911429	55	91462695184
r						0,279884291

Sumber: Hasil Perhitungan

$$r = \frac{5(911429) - (15)(911429)}{\{[5(91462695184) - (302428)^2][5(55) - (15)^2]\}^{1/2}}$$

$$= \mathbf{0.279884}$$

5.3.2 Proyeksi Penduduk 2020-2039

Perbandingan nilai Nilai Koefisien korelasi (r) yang mendekati 1 (satu) adalah metode aritmatik. Perhitungan proyeksi tiap kelurahan selanjutnya dapat dilakukan dengan metode aritmatika dengan nilai r adalah 0,00551. Perhitungan proyeksi penduduk menggunakan metode Aritmatika sesuai perhitungan di bawah ini

Contoh perhitungan:

Pada Kelurahan Mayangan tahun 2025

$$Po (2016) = 10836 \text{ jiwa}$$

$$dn = 2025 - 2016 = 9$$

$$r = 0,00551 \times 10836 \text{ jiwa} = 59,77$$

Maka proyeksi penduduk Kelurahan Mayangan tahun 2025 adalah :

$$Pn = Po + r \cdot dn$$

$$Pn = 10836 + 59,77 \cdot 9 = 11374 \text{ jiwa}$$

Perhitungan proyeksi masing-masing kelurahan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan di atas. Hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.24

Tabel 5. 24 Hasil Proyeksi Penduduk SPALD-T 2020-2039

Tahun	Kelurahan					Jumlah
	Jati	Suka bumi	Mangun harjo	Mayangan	Tisno negaraan	
2020	4949	8531	14388	11075	2182	41125
2021	4975	8577	14466	11135	2194	41347
2022	5002	8623	14544	11194	2206	41569
2023	5029	8669	14621	11254	2217	41791
2024	5056	8715	14699	11314	2229	42013
2025	5082	8761	14776	11374	2241	42234
2026	5109	8807	14854	11433	2253	42456
2027	5136	8853	14932	11493	2264	42678
2028	5162	8899	15009	11553	2276	42900
2029	5189	8945	15087	11613	2288	43122
2030	5216	8991	15165	11672	2300	43343
2031	5242	9037	15242	11732	2312	43565

2032	5269	9083	15320	11792	2323	43787
2033	5296	9129	15397	11852	2335	44009
2034	5322	9175	15475	11911	2347	44231
2035	5349	9221	15553	11971	2359	44453
2036	5376	9267	15630	12031	2370	44674
2037	5403	9313	15708	12090	2382	44896
2038	5429	9359	15785	12150	2394	45118
2039	5456	9405	15863	12210	2406	45340

Sumber: Hasil Perhitungan

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB 6

PERENCANAAN SISTEM PENYALURAN AIR LIMBAH

6.1 SPALD-T Kecamatan Mayangan

6.1.1 Debit dan Blok Pelayanan

Air limbah domestik yang dibuang pada saluran air limbah berkisar 70-80% penggunaan air bersih (Qasim, 1985). Penggunaan air bersih rata-rata di Kecamatan Mayangan adalah 159,72 L/org.hari. Presentase air limbah yang digunakan adalah 75%, maka debit air limbah per orang sebagai berikut

$$\begin{aligned} Q_r \text{ greywater} &= 159,72 \text{ L/org.hari} \times 75\% \\ &= 119,8 \text{ L/org.hari} \end{aligned}$$

Pada perencanaan ini menggunakan sistem *Shallow Sewer* yang menyalurkan *greywater* dan *blackwater*. Laju lumpur tinja (cairan dan endapan) sebesar 0,5 L/orang.hari (Kementerian PUPR, 2015). Perhitungan debit air limbah gabungan *blackwater* dan *greywater* sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q_r \text{ air limbah} &= Q_r \text{ greywater} + Q_r \text{ blackwater} \\ &= 119,8 \text{ L/orang.hari} + 0,5 \text{ L/orang.hari} \\ &= 120,3 \text{ L/orang.hari} \end{aligned}$$

Pada wilayah pelayanan SPALD-T terdiri dari 36 blok pelayanan dan melayani Kelurahan Jati, Mayangan, Sukabumi, Mangunharjo, dan Tisnonegaraan. Persentase pelayanan SPALD-T pada perencanaan ini adalah sekitar 60% dari seluruh penduduk Kecamatan Mayangan. Blok pelayanan yang dibuat mewakili tiap pipa sekunder yang mengumpulkan air limbah pada blok tersebut. Gambar perencanaan blok SPALD-T Kecamatan Mayangan dapat dilihat pada lampiran. Jumlah penduduk pada tiap blok berdasarkan persen cakupan luas permukiman pada tiap kelurahan yang masuk blok. Jumlah Penduduk pada tiap blok dapat dilihat pada Tabel 6.1

Tabel 6. 1 Jumlah Penduduk Tiap Blok Pelayanan

Blok	% Kelurahan	Jumlah Penduduk
1	16% kel. Jati	868
2	9% kel. Jati	477

Blok	% Kelurahan	Jumlah Penduduk
3	3% kel. Mangunharjo; 13% kel. Jati	1088
4	5% kel. Mangunharjo; 11% kel. Jati	1354
5	8% kel. Mangunharjo	1222
6	6% kel. Jati	302
7	11% kel. Jati	591
8	4% kel. Mangunharjo; 6% kel. Jati	924
9	4% kel. Mangunharjo	711
10	5% kel. Mangunharjo; 12% kel. Jati	1411
11	9% kel. Mangunharjo; 4% kel. Jati	1632
12	9% kel. Mangunharjo	1358
13	9% kel. Mangunharjo	1410
14	3% kel. Mangunharjo	444
15	44% kel. Tisnonegaraan	1057
16	23% kel. Tisnonegaraan	556
17	22% kel. Tisnonegaraan	524
18	5% kel. Sukabumi	515
19	3% kel. Mangunharjo	409
20	2% kel. Sukabumi	213
21	5% kel. Sukabumi	471
22	11% kel. Sukabumi	1025
23	8% kel. Sukabumi	731
24	12% kel. Sukabumi	1139
25	9% kel. Sukabumi	876
26	11% kel. Sukabumi	1008
27	17% kel. Sukabumi	1614
28	8% kel. Sukabumi	733
29	11% kel. Mangunharjo	1678

Blok	% Kelurahan	Jumlah Penduduk
30	11% kel. Mangunharjo	1774
31	5% kel. Mangunharjo; 23% kel. Mayangan	3610
32	20% kel. Mayangan	2478
33	25% kel. Mayangan	3018
34	8% kel. Mayangan	918
35	8% kel. Mayangan	930

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan debit tiap blok sesuai dengan debit air limbah domestik yang dihasilkan tiap orang per harinya. Pembagian blok dalam perencanaan sistem penyaluran air limbah ini dapat dilihat pada gambar terlampir.

Langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Menghitung Q rata-rata air limbah per blok (L/s)
2. Menghitung Q peak air limbah per blok (m³/s)
3. Menentukan Q minimal per blok (m³/s)

Contoh Perhitungan debit air limbah domestik Blok 1:

Blok 1 memiliki jumlah penduduk terlayani sebanyak 868 jiwa.

$$\begin{aligned}
 Q_r &= Q \text{ per orang} \times \text{jumlah penduduk} \\
 &= 120,3 \text{ L/orang.hari} \times 868 \text{ orang} \\
 &= 104.420,4 \text{ L/hari} \\
 &= 104.43 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{peak}} &= Q_r \times f_p \\
 f_p &= (18 + (P^{0,5})) / (4 + (P^{0,5})) \\
 &= (18 + (868^{0,5})) / (4 + (868^{0,5})) \\
 &= 1,42
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{peak}} &= 104.43 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1,42 \\
 &= 148,13 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{min}} &= 0,2 \cdot (P/1000)^{1/5} \cdot Q_r \\
 &= 0,2 \cdot (868/1000)^{1/5} \cdot 104.43 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 65,51 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Perhitungan debit masing-masing blok menggunakan cara dan rumus yang sama. Hasil perhitungan debit air limbah masing-masing blok dapat dilihat pada Tabel 6.2 berikut

Tabel 6. 2 Debit Air Limbah Domestik Tiap Blok SPALD-T

Blok	Jumlah Penduduk	Qrata-rata (m³/hari)	fp	Qpeak (m³/hari)	Qmin (m³/hari)
1	868	104,43	1,42	148,12	64,51
2	477	57,39	1,54	88,49	32,09
3	1088	130,83	1,38	180,36	83,91
4	1354	162,88	1,34	218,78	108,35
5	1222	147,01	1,36	199,84	96,13
6	302	36,39	1,65	60,20	18,86
7	591	71,12	1,49	106,29	41,21
8	924	111,17	1,41	156,42	69,39
9	711	85,50	1,46	124,54	51,08
10	1411	169,76	1,34	226,94	113,71
11	1632	196,30	1,32	258,21	134,71
12	1358	163,42	1,34	219,42	108,77
13	1410	169,62	1,34	226,77	113,60
14	444	53,39	1,56	83,21	29,49
15	1057	127,17	1,38	175,93	81,18
16	556	66,92	1,51	100,88	38,38
17	524	63,09	1,52	95,92	35,83
18	515	62,00	1,52	94,51	35,11
19	409	49,25	1,58	77,71	26,84
20	213	25,64	1,75	44,94	12,53
21	471	56,64	1,54	87,49	31,59
22	1025	123,26	1,39	171,18	78,27
23	731	87,95	1,45	127,62	52,79
24	1139	137,06	1,37	187,88	88,59
25	876	105,41	1,42	149,33	65,21

Blok	Jumlah Penduduk	Qrata-rata (m ³ /hari)	fp	Qpeak (m ³ /hari)	Qmin (m ³ /hari)
26	1008	121,25	1,39	168,73	76,78
27	1614	194,22	1,32	255,76	133,04
28	733	88,24	1,45	127,98	53,00
29	1678	201,91	1,31	264,77	139,21
30	1774	213,43	1,30	278,22	148,52
31	3610	434,31	1,22	529,19	340,22
32	2478	298,16	1,26	375,77	219,37
33	3018	363,07	1,24	449,31	276,04
34	918	110,48	1,41	155,56	68,89
35	930	111,89	1,41	157,30	69,92

Sumber: Hasil Perhitungan

6.1.2 Pembebanan Saluran

Penyaluran air limbah dari daerah pelayanan menuju IPAL menggunakan saluran yang berupa pipa-pipa, baik pipa sekunder maupun pipa primer. Pembebanan saluran air limbah dilakukan dengan membagi saluran sekunder yang kemudian menyambung dengan pipa primer dan begitu seterusnya disetiap jalur. Setiap pipa sekunder menerima beban air limbah dari satu blok pelayanan atau lebih. Pipa primer menerima beban air limbah dari tiap pipa sekunder yang tersambung. Peta jaringan pipa penyalur air limbah menuju IPAL dapat dilihat pada lampiran. Pembebanan pada pipa sekunder dan primer dapat dilihat pada Tabel 6. 3 dan Tabel 6.4 berikut

Tabel 6. 3 Pembebanan Saluran Sekunder SPALD-T

No	Pipa	Blok	Qrata-rata (m ³ /hari)	Qpeak (m ³ /hari)	Qmin (m ³ /hari)
1	a1 - A	6	36,39	60,20	5,73
2	a2 - A	1	104,43	148,12	20,30
3	b1 - B	2	57,39	88,49	9,90
4	c1 - C	7	71,12	106,29	12,81

No	Pipa	Blok	Qrata-rata (m ³ /hari)	Qpeak (m ³ /hari)	Qmin (m ³ /hari)
5	d1 - D	3	130,83	180,36	26,61
6	e1 - E	8	111,17	156,42	21,89
7	e2 - E	4	162,88	218,78	34,61
8	f1 - F	5	147,01	199,84	30,60
9	g1 - G	10	169,76	226,94	36,37
10	h1 - H	15	127,17	175,93	25,72
11	i1 - I	16	66,92	100,88	11,90
12	i2 - I	11	196,30	258,21	43,30
13	j1 - j2	9	85,50	124,54	15,97
14	j3 - j4	12	163,42	219,42	34,75
15	j5 - j6	18	62,00	94,51	10,86
16	j7 - j8	17	63,09	95,92	11,09
17	k1 - K	26	121,25	168,73	24,29
18	l1 - L	21	56,64	87,49	9,74
19	m1 - M	27	194,22	255,76	42,75
20	n1 - N	22	123,26	171,18	24,77
21	o1 - O	23	87,95	127,62	16,52
22	p1 - P	28	88,24	127,98	16,59
23	q1 - Q	24	137,06	187,88	28,14
24	r1 - r2	25	105,41	149,33	20,53
25	r2 - r3	20,25	131,05	180,63	26,66
26	r3 - r4	20,25	131,05	180,63	26,66
27	r4 - R	19,20,25	180,30	239,40	39,10
28	r5 - R	13	169,62	226,77	36,34
29	s1 - S	14	53,39	83,21	9,08
30	t1 - T	29	201,91	264,77	44,79
31	u1 - u2	32	298,16	375,77	71,50

No	Pipa	Blok	Qrata-rata (m ³ /hari)	Qpeak (m ³ /hari)	Qmin (m ³ /hari)
32	u2 - U	31,32	732,47	857,48	210,25
33	v1 - V	30	213,43	278,22	47,87
34	w1 - W	33	363,07	449,31	90,57
35	x1 - X	34	110,48	155,56	21,72
36	y1 - y2	35	111,89	157,30	22,06

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. 4 Pembebanan Saluran Primer SPALD-T

No.	Jalur Pipa	Akumulasi Saluran	Q Average (m3/hari)	Q peak (m3/hari)	Q min (m3/hari)
			kumulatif	kumulatif	kumulatif
1	A - B	a1 - A	140,82	208,33	26,03
		a2 - A			
2	B - C	A - B	198,21	296,81	35,93
		b1 - B			
3	C - D	B - C	269,34	403,10	48,74
		c1 - C			
4	D - E	C - D	400,17	583,47	75,35
		d1 - D			
5	E - F	D - E	674,23	958,67	131,85
		e1 - E			
		e2 - E			
6	F - j2	E - F	759,73	1083,21	147,82
		j1 - j2			
7	j2 - j4	F - j2	923,15	1302,63	182,57
		j3 - j4			
8	j4 - J	j2 - j4	923,15	1302,63	182,57
9	G - H	g1 - G	169,76	226,94	36,37

No.	Jalur Pipa	Akumulasi Saluran	Q Average (m3/hari)	Q peak (m3/hari)	Q min (m3/hari)
			kumulatif	kumulatif	kumulatif
10	H - I	G - H	296,93	402,87	62,09
		h1 - H			
11	I - J	H - I	560,15	761,96	117,29
		i1 - I			
		i2 - I			
12	K - L	k1 - K	121,25	168,73	24,29
13	L - M	K - L	177,88	256,22	34,03
		l1 - L			
14	M - N	L - M	372,10	511,98	76,78
		m1 - M			
15	N - O	M - N	495,36	683,17	101,55
		n1 - N			
16	O - P	N - O	583,31	810,79	118,07
		o1 - O			
17	P - Q	O - P	671,55	938,76	134,66
		p1 - P			
18	Q - j6	P - Q	808,60	1126,65	162,80
		q1 - Q			
19	j6 - j8	Q - j6	871,69	1222,57	173,89
		j7 - j8			
20	j8 - J	j6 - j8	871,69	1222,57	173,89
21	J - R	j4 - J	2354,99	3287,15	473,75
		I - J			
		j8 - J			
22	R - S	J - R	2704,91	3753,33	549,18
		r4 - R			
		r5 - R			

No.	Jalur Pipa	Akumulasi Saluran	Q Average (m3/hari)	Q peak (m3/hari)	Q min (m3/hari)
			kumulatif	kumulatif	kumulatif
23	S - T	R - S	2758,31	3836,54	558,26
		s1 - S			
24	T - U	S - T	2960,22	4101,31	603,05
		t1 - T			
25	U - V	T - U	3692,69	4958,79	813,29
		u2 - U			
26	V - Y	U - V	3906,12	5237,01	861,17
		v1 - V			
27	W - X	w1 - W	363,07	449,31	90,57
28	X - y2	W - X	473,55	604,88	112,29
		x1 - X			
29	y2 - Y	X - y2	585,44	762,18	134,34
		y1 - y2			
30	Y - Z	V - Y	4491,56	5999,19	995,51
		y2 - Y			
31	Z - IPAL	Y - Z	4491,56	5999,19	995,51

Sumber: Hasil Perhitungan

6.1.3 Perhitungan Dimensi Pipa

Perhitungan dimensi pipa air limbah berdasarkan pada pembebanan air limbah pada masing-masing pipa. Jenis pipa yang digunakan dalam perencanaan ini adalah pipa PVC. Dalam perhitungan dimensi pipa untuk saluran air limbah, ada beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain, pada kondisi peak kecepatan minimum adalah 0,6 m/detik. Kecepatan minimum yang kurang dari 0,6 m/detik perlu dilakukan penggelontoran guna mencegah terjadinya pengendapan saat kondisi minimum. Perhitungan dimensi pipa ditentukan berdasarkan nilai $d/D = 0,8$

saat Q_{peak} . Besarnya Q_p/Q_f , d/D , V_{min}/V_{full} dapat dilihat pada grafik “*Hydraulic Elements for Circular Sewer*” di bawah ini.

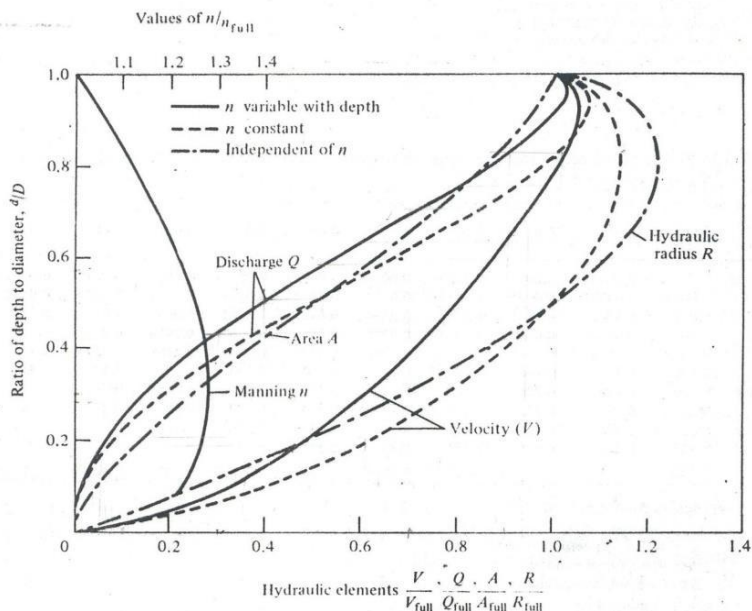


Figure 2-16 Hydraulic elements for circular sewers [10].

Gambar 6. 1 Grafik “*Hydraulic Elements for Circular Sewer*”

Contoh perhitungan Pipa a1 - A

Diketahui :

$$Q_{peak\ total} = 60,20 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q_{min} = 5,73 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Panjang Pipa} = 158 \text{ m}$$

Direncanakan :

$$\text{Slope pipa} = 0,007$$

$$d/D = 0,8$$

Berdasarkan grafik *Hydraulic Elements for Circular Sewer*, maka didapatkan

$$Q_{PEAK}/Q_{FULL} = 0,975.$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{full}} &= Q_{\text{PEAK}} / (Q_{\text{PEAK}} / Q_{\text{FULL}}) \\
 &= 60,20 \text{ m}^3/\text{hari} / 0,975 \\
 &= 61,75 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Untuk pipa PVC, $n = 0,012$

- Diameter

$$Q = \frac{0,3117}{n} D^{8/3} \cdot S^{1/2}$$

$$61,75 \text{ m}^3/\text{hari} / 86400 \text{ detik} = \frac{0,3117}{0,012} D^{8/3} \cdot 0,009^{1/2}$$

$$D = 0,04942 \text{ m}$$

$$D_{\text{TERPASANG}} = 0,1 \text{ m} = 100 \text{ mm}$$

- Cek Q_{full}

$$Q = \frac{0,3117}{n} D^{8/3} \cdot S^{1/2}$$

$$Q = \frac{0,3117}{0,012} 0,1^{8/3} \cdot 0,009^{1/2}$$

$$Q_{\text{full cek}} = 0,005 \text{ m}^3/\text{detik}$$

- $Q_{\text{Min}}/Q_{\text{FULL cek}}$

$$\begin{aligned}
 &= (5,73 \text{ m}^3/\text{hari} / 86400 \text{ detik}) / 0,005 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 &= 0,01
 \end{aligned}$$

- Cek V_{full}

$$V = \frac{Q_{\text{full}}}{\frac{1}{4} \pi \cdot D^2}$$

$$V = \frac{0,005}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,1^2}$$

$$V_{\text{full cek}} = 0,60 \text{ m/s}$$

- Mencari D_{min}/D dan $V_{\text{min}}/V_{\text{full}}$

(didapatkan dari hubungan antara nilai $Q_{\text{min}}/Q_{\text{full}}$ cek dengan D_{min}/D dan $V_{\text{min}}/V_{\text{full}}$ pada tabel *Hydraulic Elements for Circular Sewer*)

$$Q_{\text{Min}}/Q_{\text{FULLcek}} = 0,01, \quad D_{\text{min}}/D = 0,12, \quad V_{\text{min}}/V_{\text{full}} = 0,44$$

- $V_{\text{min}} = V_{\text{full cek}} \times (V_{\text{min}}/V_{\text{full}}) = 0,6 \text{ m/s} \times 0,44 = 0,26 \text{ m/s}$

(belum memenuhi kriteria karena V_{min} kurang dari 0.6 m/s)

Syarat yang harus dipenuhi dalam menentukan

dimensi pipa air limbah adalah V_{min} dalam rentang 0,6-3 m/dt

agar tidak terjadi pengendapan. Bila kecepatan minimum

kurang dari 0,6 m/detik perlu dilakukan penggelontoran

guna mencegah terjadinya pengendapan saat kondisi

minimum. Volume air penggelontoran berdasarkan Permen

PUPR no.4 Tahun 2017 adalah 10% dari volume pipa saluran.

$$\begin{aligned}V_{\text{gelontor}} &= 10\% \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times L_{\text{pipa}} \\&= 10\% \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,1\text{m}^2 \times 158\text{ m} \\&= 0,12\text{ m}^3 = 120\text{ L}\end{aligned}$$

Perhitungan dimensi pipa untuk setiap jalur dan perhitungan pada SPALD-S menggunakan cara yang sama. Hasil perhitungan dimensi pipa dapat dilihat pada Tabel 6.5 dan Tabel 6.6.

Tabel 6. 5 Data Perhitungan Dimensi Pipa Sekunder SPALD-T

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

Tabel 6. 6 Data Perhitungan Dimensi Pipa Primer SPALD-T

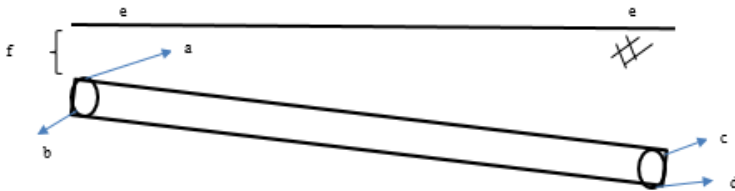
"Halaman ini sengaja dikosongkan"

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

6.1.4 Penanaman Pipa

Penanaman pipa mengikuti slope pipa yang telah ditetapkan sebelumnya. Penanaman pipa menggunakan sistem *Open Trench* maksimal kedalaman 4-5 m. Pipa yang mencapai kedalaman 4-5 m harus menggunakan pompa atau penanaman menggunakan sistem *Jacking*. Kedalaman awal penanaman pipa sekunder adalah sesuai kedalaman pipa tersier terakhir yang diasumsikan 1m. Kedalaman pipa primer menyesuaikan kedalaman pipa sekunder agar posisi pipa berada lebih rendah dari pipa sekunder. Sketsa penanaman pipa dapat dilihat pada gambar 6.2 berikut



Gambar 6. 2 Sketsa Penanaman Pipa SPAL

Contoh perhitungan

untuk pipa **a1 - A**:

- Muka Tanah
 - Elevasi tanah awal : 14,63 m
 - Elevasi tanah akhir : 14,63 m
 - Panjang pipa (L) : 158 m
 - Slope pipa (S) : 0,007 m
 - Diameter pipa : 0,100 m
- Kedalaman penanaman awal : 1 m
- Headloss (HL) = Panjang pipa x Slope
 - = $158 \times 0,007$
 - = 1,11 m
- Elevasi atas pipa
 - Elevasi awal di a1 = Elevasi medan awal – 1 m
 - = $14,63 - 1 = 13,63$ m
 - Elevasi akhir di A = Elevasi awal a1 – HL
 - = $13,63 - 1,11 = 12,52$ m

- Elevasi bawah pipa

$$\text{Elevasi awal di a1} = \text{Elevasi atas awal di a1} - \text{diameter}$$

$$= 13,63 - 0,100 = 13,53 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi akhir di A} = \text{Elevasi atas akhir a2} - \text{diameter}$$

$$= 12,52 - 0,100 = 12,42 \text{ m}$$
- Kedalaman penanaman

$$\text{Awal} = \text{elevasi medan awal} - \text{elevasi awal pipa bawah} + \text{pondasi pasir}$$

$$= 14,63 - 13,53 + 0,1 = 1,2 \text{ m}$$

$$\text{Akhir} = \text{elevasi medan akhir} - \text{elevasi akhir pipa bawah} + \text{pondasi pasir}$$

$$= 14,63 - 12,42 + 0,2 = 2,31 \text{ m}$$

Kedalaman penanaman pipa selanjutnya disesuaikan dengan kedalaman elevasi penanaman pipa sebelumnya. Perhitungan penanaman pipa primer disesuaikan dan bergantung pada penanaman pipa sekunder. Penanaman pipa sekunder dihitung dan ditentukan terlebih dahulu. Kedalaman pipa yang mencapai 4-5 m menggunakan pompa yang debit pemompaannya disesuaikan dengan debit air limbah pada saluran tersebut. Perhitungan penanaman pipa pada jalur yang lain dan perhitungan pada SPALD-S sama dengan perhitungan pada jalur a1-A. Hasil perhitungan penanaman pipa primer dan sekunder dapat dilihat pada lampiran Tabel 6.7 dan Tabel 6.8.

Tabel 6. 7 Data Kedalaman Penanaman Pipa Sekunder SPALD-T

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

Tabel 6. 8 Data Kedalaman Penanaman Pipa Primer SPALD-T

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

6.1.5 Bangunan Pelengkap SPALD-T

Pada perencanaan sistem jaringan pipa air limbah ini dilengkapi dengan bangunan pelengkap sebagai penunjang daya dukung pengaliran air limbah diantaranya *manhole* dan bak kontrol.

a. *Manhole*

Bangunan pelengkap *manhole* berguna sebagai jalan masuknya petugas pengontrol saluran. Pada perencanaan ini, *manhole* diletakkan pada jarak tertentu tergantung pada percabangan pipa sekunder dan diameter saluran yang dapat dilihat pada Tabel 6.9. Ukuran *manhole* menyesuaikan diameter dan kedalaman pipa (gambar tipikal dan ukuran *manhole* terlampir). Besar lubang masuk *manhole* minimal adalah 50 cm x 50 cm atau diameter 60 cm. Pada perencanaan SPALD-T, terdapat lima jenis *manhole* yang digunakan yaitu :

- *Manhole* lurus
- *Manhole* belok
- *Manhole* pertigaan
- *Manhole* perempatan
- *Drop Manhole*

Tabel 6. 9 Jarak Antar Manhole pada Jalur Lurus

Diameter (mm)	Jarak antar <i>Manhole</i> (m)
20 – 50	50 – 75
50 – 75	75 – 125
100 – 150	125 – 150
150 – 200	150 – 200
1000	100 – 150

Sumber: Permen PUPR no.4 Tahun 2017

Berikut merupakan jenis dan jumlah *manhole* pada semua *cluster* yang disajikan pada Tabel 6.10 – Tabel 6.11.

Tabel 6. 10 Jumlah Manhole setiap Saluran Sekuder

No	Jalur Pipa	Jumlah Manhole					Total
		Lurus	Belokan	Pertigaan	Perempatan	Drop	
1	a1 - A	2	0	0	0	0	2
2	a2 - A	2	0	0	0	0	2

No	Jalur Pipa	Jumlah Manhole					Total
		Lurus	Belokan	Pertigaan	Perempatan	Drop	
3	b1 - B	2	0	0	0	0	2
4	c1 - C	2	0	0	0	0	2
5	d1 - D	2	0	0	0	0	2
6	e1 - E	2	0	0	0	0	2
7	e2 - E	2	0	0	0	0	2
8	f1 - F	2	0	0	0	0	2
9	g1 - G	3	0	0	0	0	3
10	h1 - H	3	0	0	0	0	3
11	i1 - I	3	0	0	0	0	3
12	i2 - I	3	0	0	0	0	3
13	j1 - j2	2	0	0	0	0	2
14	j3 - j4	2	0	0	0	0	2
15	j5 - j6	2	0	0	0	0	2
16	j7 - j8	2	0	0	0	0	2
17	k1 - K	4	0	0	0	0	4
18	l1 - L	3	0	0	0	0	3
19	m1 - M	4	0	0	0	0	4
20	n1 - N	3	0	0	0	0	3
21	o1 - O	2	0	0	0	0	2
22	p1 - P	2	0	0	0	0	2
23	q1 - Q	3	0	0	0	0	3
24	r1 - r2	3	0	0	0	0	3
25	r2 - r3	2	0	0	0	0	2
26	r3 - r4	2	0	0	0	0	2
27	r4 - R	2	0	0	0	0	2
28	r5 - R	2	0	0	0	0	2
29	s1 - S	3	0	0	0	0	3

No	Jalur Pipa	Jumlah Manhole					Total
		Lurus	Belokan	Pertigaan	Perempatan	Drop	
30	t1 - T	3	0	0	0	0	3
31	u1 - u2	3	1	0	0	0	4
32	u2 - U	3	0	0	0	0	3
33	v1 - V	2	0	0	0	0	2
34	w1 - W	3	0	0	0	0	3
35	x1 - X	2	0	0	0	0	2
36	y1 - y2	2	0	0	0	0	2
Jumlah		89	1	0	0	0	90

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. 11 Jumlah Manhole setiap Saluran Primer

No	Jalur Pipa	Jumlah Manhole					Total
		Lurus	Belokan	Pertigaan	Perempatan	Drop	
1	A - B	0	1	0	0	0	1
2	B - C	0	0	0	0	1	0
3	C - D	0	0	0	0	1	0
4	D - E	1	0	0	0	1	1
5	E - F	2	0	0	0	1	2
6	F - j2	1	0	0	0	1	1
7	j2 - j4	1	0	0	0	1	1
8	j4 - J	0	0	1	0	0	1
9	G - H	0	0	0	0	1	0
10	H - I	1	0	0	0	1	1
11	I - J	2	0	0	0	0	2
12	K - L	0	1	0	0	0	1
13	L - M	1	0	1	0	0	2
14	M - N	0	0	0	0	1	0
15	N - O	1	0	0	0	1	1

No	Jalur Pipa	Jumlah Manhole					Total
		Lurus	Belokan	Pertigaan	Perempatan	Drop	
16	O - P	1	0	1	0	0	2
17	P - Q	1	0	1	0	0	2
18	Q - j6	0	0	0	0	1	0
19	j6 - j8	1	0	0	0	1	1
20	j8 - J	0	0	0	0	0	0
21	J - R	1	1	0	0	1	2
22	R - S	0	0	0	0	1	0
23	S - T	2	2	0	0	1	4
24	T - U	0	0	1	0	0	1
25	U - V	0	0	1	0	0	1
26	V - Y	1	0	0	0	0	1
27	W - X	0	0	1	0	0	1
28	X - y2	0	0	0	0	1	0
29	y2 - Y	0	0	0	0	0	0
30	Y - Z	2	0	0	0	1	2
31	Z - IPAL	0	1	0	0	0	1
Jumlah		19	6	7	0	17	32

Sumber: Hasil Perhitungan

b. Bak Kontrol

Bak kontrol merupakan prasarana pendukung yang berfungsi untuk menahan sampah atau benda yang dapat menyumbat pipa pengumpul air limbah. Ukuran bak kontrol adalah 50 cm x 50 cm dengan kedalaman menyesuaikan pipa persil. Setiap bak kontrol mampu melayani 1-3 pipa persil atau sambungan rumah. Pada sisi bak kontrol dilengkapi dinding setinggi 10 cm untuk menahan air hujan. Bak kontrol dilengkapi penutup yang terbuat dari beton bertulang atau plat baja yang dapat dibuka. Bak kontrol pada perencanaan SPALD-T diperuntukkan untuk masing-masing Sambungan Rumah (SR).

Jumlah Penduduk = 45340 jiwa
 Jumlah Penduduk satu KK = 4 jiwa
 Jumlah Bak kontrol = 45340 jiwa/4 jiwa = 11335 buah

c. Stasiun Pompa

Stasiun pompa digunakan pada kedalaman pipa SPALDT yang mencapai 7m. Jenis pompa yang digunakan adalah yang memiliki kelebihan tidak mudah tersumbat yaitu *submersible pump*. Contoh perhitungan stasiun pompa adalah sebagai berikut

Titik Pompa P

Qr saluran = 671,55 m³/hari = 0,008 m³/detik

Td Stasiun Pompa = 15 menit

Vbak pengumpul = 0,008 m³/detik x 15 menit
 = 6,9 m³

Ukuran bak pengumpul = p x l x h
 = 2,5 m x 2 m x 1,5 m
 = 7,5 m³

Jumlah Pompa 2 buah, sebagai cadangan 1

Waktu pemompaan 4 menit,

Qpompa = 7,5 m³ / 4 . 60 detik = 0,031 m³/detik

Vpompa = 1 m/detik

$$D = \left[\sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot V}} \right] = 0,2 \text{ m} = 200 \text{ mm}$$

Headloss Pompa

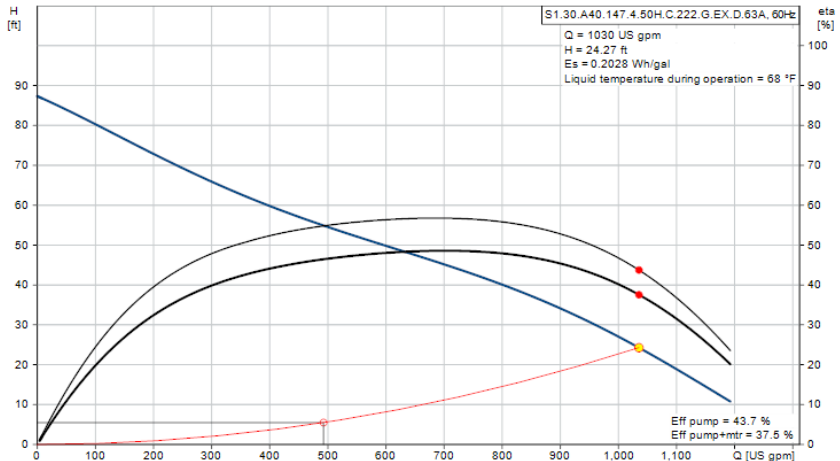
H statis = 5,5 m

$$H_f = \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L_{discch} \arg e$$

$$= 1,36 \times 10^{12} \text{ m (diabaikan karena terlalu kecil)}$$

Pemilihan Pompa

Pemilihan pompa menggunakan bantuan grafik Pompa Grundfos di www.grundfos.com. Pompa submersible yang sesuai dengan debit dan head pemompaan adalah jenis pompa Grundfos S1.30.A40.147.4.50H.C.222.G.EX.D.63A – 97660645. Spesifikasi pompa dapat dilihat pada Gambar 6.3



Gambar 6. 3 Grafik Spesifikasi Pompa yang Digunakan

Power pompa

Densitas = 1000 kg/m³

Power Pompa = $g \times Q \text{ tiap pompa} \times H_f \text{ total} \times \text{densitas}$
 = 9,81 x 0.031 m³/s x 5,5 m x 1000 kg/m³
 = 1672,6 watt

Efisiensi pompa = 43,7 %
 = 1672,6 watt / 43,7 %
 = 3827 watt

d. Grease Trap

Grease Trap berfungsi untuk menahan minyak dan lemak dari dapur. Pemasangan *Grease Trap* dilakukan di masing-masing sambungan rumah SPAL terutama keluaran dari limbah dapur. Persen pengolahan minyak lemak pada *grease trap* sebesar 85-95% (Wongthanate dkk, 2014). Berikut merupakan perhitungan konsentrasi effluen air limbah.

Konsentrasi minyak lemak awal = 18 mg/L,
 Persen pengolahan = 95 %
 Konsentrasi minyak lemak outlet
 = (100 – 90) % x 18 mg/L
 = 1,8 mg/L

6.2 SPALD-S Pabrik Tahu Asri

6.2.1 Debit dan Pembebanan Saluran

Jumlah rumah yang tersambung biogas adalah 67 rumah dan termasuk rumah pemilik pabrik tahu Asri. Debit air limbah domestik tiap orang adalah 120,3 L/hari disamakan dengan perencanaan SPALD-T. Perencanaan SPALD-S mencakup pipa tersier sebagai saluran pengumpul dari sambungan rumah (SR) atau pipa persil. Saluran pengumpul menerima beban limbah secara langsung dari sambungan rumah atau akumulasi dari berbagai sambungan rumah. Peta jaringan pipa penyalur air limbah menuju IPAL pabrik tahu dapat dilihat pada lampiran.

Perhitungan debit tiap SR sesuai dengan debit air limbah domestik yang dihasilkan tiap orang dalam SR per harinya. Pembagian SR dalam perencanaan sistem penyaluran air limbah ini dapat dilihat pada gambar terlampir.

Langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Menghitung Q rata-rata air limbah per blok (L/s)
2. Menghitung Q peak air limbah per blok (m³/s)

$$Q_{\text{peak}} = 5 \times P^{0,5} \times f_m \times Q_r; f_m = 1,15 - 1,5$$

3. Menentukan Q minimal per blok (m³/s)

$$Q_{\text{min}} = 0,2 \cdot P^{1,2} \cdot Q_r$$

Contoh Perhitungan debit air limbah domestik SR 1:

SR 1 memiliki jumlah anggota keluarga sebanyak 5 orang.

$$\begin{aligned} Q_r &= Q \text{ per orang} \times \text{jumlah penduduk} \\ &= 120,3 \text{ L/orang.hari} \times 5 \text{ orang} \\ &= 600 \text{ L/hari} \\ &= 0,6 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{peak}} &= 5 \times P^{0,5} \times f_m \times Q_r \\ f_p &= 1,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{peak}} &= 5 \times 5^{0,5} \times 1,5 \times 0,6 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 2,02 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{min}} &= 0,2 \cdot P^{1,2} \cdot Q_r \\ &= 0,2 \cdot 4^{1,2} \cdot 0,6 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,41 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Perhitungan debit masing-masing SR menggunakan cara dan rumus yang sama. Hasil perhitungan debit air limbah masing-masing blok dapat dilihat pada Tabel 6.8 berikut

Tabel 6. 12 Debit Air Limbah Domestik Tiap SR SPALD-S

Sambungan Rumah	Jumlah Penduduk	Qrata-rata (m³/hari)	Qpeak (m³/hari)	Qmin (m³/hari)
1	5	0,60	2,02	0,41
2	4	0,48	1,80	0,32
3	4	0,48	1,80	0,32
4	3	0,36	1,56	0,22
5	4	0,48	1,80	0,32
6	5	0,60	2,02	0,41
7	4	0,48	1,80	0,32
8	4	0,48	1,80	0,32
9	3	0,36	1,56	0,22
10	4	0,48	1,80	0,32
11	5	0,60	2,02	0,41
12	4	0,48	1,80	0,32
13	4	0,48	1,80	0,32
14	4	0,48	1,80	0,32
15	4	0,48	1,80	0,32
16	4	0,48	1,80	0,32
17	4	0,48	1,80	0,32
18	4	0,48	1,80	0,32
19	3	0,36	1,56	0,22
20	4	0,48	1,80	0,32
21	4	0,48	1,80	0,32
22	3	0,36	1,56	0,22
23	4	0,48	1,80	0,32

Sambungan Rumah	Jumlah Penduduk	Qrata-rata (m ³ /hari)	Qpeak (m ³ /hari)	Qmin (m ³ /hari)
24	4	0,48	1,80	0,32
25	4	0,48	1,80	0,32
26	2	0,24	1,28	0,14
27	6	0,72	2,21	0,52
28	3	0,36	1,56	0,22
29	4	0,48	1,80	0,32
30	3	0,36	1,56	0,22
31	4	0,48	1,80	0,32
32	3	0,36	1,56	0,22
33	4	0,48	1,80	0,32
34	4	0,48	1,80	0,32
35	4	0,48	1,80	0,32
36	4	0,48	1,80	0,32
37	4	0,48	1,80	0,32
38	4	0,48	1,80	0,32
39	3	0,36	1,56	0,22
40	4	0,48	1,80	0,32
41	5	0,60	2,02	0,41
42	4	0,48	1,80	0,32
43	4	0,48	1,80	0,32
44	6	0,72	2,21	0,52
45	3	0,36	1,56	0,22
46	4	0,48	1,80	0,32
47	5	0,60	2,02	0,41
48	3	0,36	1,56	0,22
49	4	0,48	1,80	0,32
50	4	0,48	1,80	0,32

Sambungan Rumah	Jumlah Penduduk	Qrata-rata (m ³ /hari)	Qpeak (m ³ /hari)	Qmin (m ³ /hari)
51	3	0,36	1,56	0,22
52	4	0,48	1,80	0,32
53	2	0,24	1,28	0,14
54	4	0,48	1,80	0,32
55	4	0,48	1,80	0,32
56	4	0,48	1,80	0,32
57	3	0,36	1,56	0,22
58	4	0,48	1,80	0,32
59	4	0,48	1,80	0,32
60	3	0,36	1,56	0,22
61	4	0,48	1,80	0,32
62	6	0,72	2,21	0,52
63	5	0,60	2,02	0,41
64	3	0,36	1,56	0,22
65	4	0,48	1,80	0,32
66	6	0,72	2,21	0,52
67	4	0,48	1,80	0,32
Jumlah	264	32	119	21

Sumber: Hasil Perhitungan

Pembebanan saluran pengumpul disesuaikan dengan gambar perencanaan jaringan pelayanan SPALD-S yang ada pada lampiran. Pembebanan pada saluran pengumpul dapat dilihat pada Tabel 6. 13 berikut

Tabel 6. 13 Pembebanan Saluran Pengumpul SPALD-S

No.	Jalur Pipa	Akumulasi Saluran	Q Average (m3/hari)	Q peak (m3/hari)	Q min (m3/hari)
			kumulatif	kumulatif	kumulatif
1	a1 - a2	SR 1	0,60	2,02	0,41
2	a2 - A	a1 - a2	1,56	5,63	1,05
		SR 2			
		SR 3			
3	a3 - A	SR 4	1,92	7,19	1,27
		SR 5			
		SR 6			
		SR 7			
4	A - b1	a2 - A	3,49	12,82	2,32
		a3 - A			
5	b1 -b2	A - b1	3,97	14,62	2,64
		SR 8			
6	b2 -B	b1 -b2	4,33	16,18	2,87
		SR 9			
7	b3 - b4	SR 10	1,56	5,63	1,05
		SR 11			
		SR 12			
8	b4 - B	b3 - b4	2,53	9,24	1,68
		SR 13			
		SR 14			
9	B - c1	b2 -B	6,86	25,42	4,55
		b4 - B			
10	c1 - c2	B - c1	8,30	30,83	5,50
		SR 15			
		SR 16			

No.	Jalur Pipa	Akumulasi Saluran	Q Average (m3/hari)	Q peak (m3/hari)	Q min (m3/hari)
			kumulatif	kumulatif	kumulatif
		SR 17			
11	c2 - c3	c1 - c2	8,78	32,64	5,82
		SR 18			
12	c3 - C	c2 - c3	9,62	36,00	6,36
		SR 19			
		SR 20			
13	c4 - c5	SR 21	0,84	3,37	0,54
		SR 22			
14	c5 - c7	c4 - c5	1,32	5,17	0,86
		SR 23			
15	c6 - c7	SR 24	0,48	1,80	0,32
16	c7 - c8	c5 - c7	2,53	10,06	1,63
		c6 - c7			
		SR 25			
		SR 26			
17	c8 - C	c7 - c8	3,25	12,27	2,15
		SR 27			
18	C - D	c3 - C	12,87	48,27	8,51
		c8 - C			
19	d1 - d4	SR 39	0,84	3,37	0,54
		SR 40			
20	d2 - d3	SR 43	1,20	4,01	0,83
		SR 44			
21	d3 - d4	d2 - d3	2,29	7,84	1,57
		SR 41			

No.	Jalur Pipa	Akumulasi Saluran	Q Average (m3/hari)	Q peak (m3/hari)	Q min (m3/hari)
			kumulatif	kumulatif	kumulatif
		SR 42			
22	d4 - d5	d1 - d4	3,13	11,20	2,11
		d3 - d4			
23	d5 - d8	d4 - d5	3,49	12,77	2,33
		SR 45			
24	d6 - d7	SR 32	1,80	6,98	1,18
		SR 33			
		SR 35			
		SR 36			
25	d7 - d8	d6 - d7	3,25	12,39	2,13
		SR 34			
		SR 37			
		SR 38			
26	d8 - d9	d7 - d8	6,74	25,16	4,46
		d5 - d8			
27	d9 - d10	d8 - d9	7,22	26,96	4,78
		SR 46			
28	d10 - d13	d9 - d10	7,82	28,98	5,20
		SR 47			
29	d11 - d12	SR 49	1,80	6,98	1,18
		SR 50			
		SR 51			
		SR 52			
30	d12 - d13	d11 - d12	2,41	9,81	1,54
		SR 48			

No.	Jalur Pipa	Akumulasi Saluran	Q Average (m3/hari)	Q peak (m3/hari)	Q min (m3/hari)
			kumulatif	kumulatif	kumulatif
		SR 53			
31	d13 - d14	d10 - d13	11,07	42,16	7,28
		d12 - d13			
		SR 30			
		SR 31			
32	d14 - D	d13 - d14	11,91	45,53	7,82
		SR 28			
		SR 29			
33	D - e1	C - D	24,78	93,80	16,33
		d14 - D			
34	e1 - e2	D - e1	25,26	95,60	16,65
		SR 54			
35	e2 - e3	e1 - e2	26,23	99,21	17,29
		SR 55			
		SR 56			
36	e3 - E	e2 - e3	27,07	102,58	17,83
		SR 57			
		SR 58			
37	e4 - e5	SR 62	1,32	4,23	0,93
		SR 63			
38	e5 - e6	e4 - e5	2,65	9,40	1,79
		SR 59			
		SR 60			
		SR 61			
39	e6 - E	e5 - e6	2,65	9,40	1,79

No.	Jalur Pipa	Akumulasi Saluran	Q Average (m3/hari)	Q peak (m3/hari)	Q min (m3/hari)
			kumulatif	kumulatif	kumulatif
40	E - F	e3 - E	29,71	111,98	19,62
		e6 - E			
41	f1 - f2	SR 65	1,20	4,01	0,83
		SR 66			
42	f2 - F	f1 - f2	1,56	5,58	1,06
		SR 64			
43	F - G	E - F	31,28	117,56	20,68
		f2 - F			
44	G - IPAL	F - G	31,28	117,56	20,68

Sumber: Hasil Perhitungan

6.2.2 Dimensi dan Penanaman Pipa SPALD-S

Perhitungan dimensi dan penanaman pipa pada SPALD-S sama dengan perhitungan dimensi dan penanaman pipa SPALD-T. Dimensi semua pipa pengumpul pada SPALD-S permukiman sekitar pabrik tahu Asri adalah 4 inci atau 100 mm. Lingkup wilayah yang kecil dan jumlah SR sedikit menyebabkan dimensi pipa minimal SPAL 100 mm masih mampung menyalurkan air limbah. Penggunaan diameter 100 mm masih belum memenuhi kecepatan minimum saat debit minimum. Kecepatan aliran untuk semua saluran saat Qmin masih di bawah 0,6 m/dt. Penggelontoran perlu dilakukan di masing-masing hulu saluran agar tidak terjadi pengendapan padatan. Volume air penggelontor ditentukan sebanyak 50 L. Titik yang menjadi tempat penggelontoran adalah titik a1, b3, c6, d1, e4, dan f1.

Kedalaman penanaman pipa pengumpul pada SPALD-S cukup dangkal. Penanaman terdalam hanya 1,74 m dari permukaan tanah. Luas wilayah yang kecil menyebabkan panjang pipa penyalur masih bisa memenuhi *sloope* rendah sehingga kedalaman pipa juga tidak terlalu dalam. Penanaman awal pipa pengumpul adalah 0,6 m menyesuaikan kedalaman pipa persil

dengan *sloope* 2%. Hasil perhitungan dimensi pipa dan penanaman pipa SPALD-S dapat dilihat pada Tabel 6.14 dan Tabel 6.15 berikut.

Tabel 6. 14 Data Perhitungan Dimensi Pipa Pengumpul SPALD-S

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

Tabel 6. 15 Data Kedalaman Penanaman Pipa Pengumpul SPALD-S

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

6.2.3 Bangunan Pelengkap SPALD-S

Pada perencanaan sistem jaringan pipa air limbah ini dilengkapi dengan bangunan pelengkap sebagai penunjang daya dukung pengaliran air limbah diantaranya *manhole*, bak control, dan bak inspeksi.

a. *Manhole*

Bangunan pelengkap *manhole* berguna sebagai jalan masuknya petugas pengontrol saluran. Pada perencanaan ini, *manhole* diletakkan pada pertemuan pipa pengumpul yang memiliki kedalaman lebih dari 1 m. *Manhole* juga diletakkan pada titik pertemuan pipa yang dianggap memiliki potensi penyumbatan atau permasalahan pengaliran lainnya. Besar lubang masuk *manhole* direncanakan 75 cm x 75 cm agar petugas SPALD-S dapat masuk ke dalam *manhole*. Pada perencanaan SPALD-S ini terdapat beberapa jenis *manhole* yang dapat dilihat pada Tabel 6.16 berikut

Tabel 6. 16 Letak dan Jenis *Manhole* pada SPALD-S

No.	Titik Manhole	Jenis Manhole	Jumlah
1	A	Pertigaan	1
2	B	Pertigaan	1
3	C	Pertigaan	1
4	d13	Perempatan	1
5	D	Pertigaan	1
6	E	Pertigaan	1
7	F	Pertigaan	1
8	G	Belokan	1
Jumlah			8

Sumber: Hasil Perhitungan

b. Bak Kontrol

Bak kontrol merupakan prasarana pendukung yang berfungsi untuk menahan sampah atau benda yang dapat menyumbat pipa pengumpul air limbah. Ukuran bak kontrol

adalah 40 cm x 40 cm dengan kedalaman menyesuaikan pipa persil. Pada SPALD-S ini bak kontrol dibangun untuk mengumpulkan beberapa SR yang berdekatan atau yang jauh dari pipa pengumpul. Bak kontrol dibangun sebelum memasuki pipa pengumpul. Gambar dan letak bak kontrol pada SPALD-S dapat dilihat pada gambar Lampiran.

c. Bak Inspeksi

Bak inspeksi merupakan prasarana pendukung untuk mengumpulkan air limbah dari beberapa rumah atau bak kontrol dan mengalirkannya ke saluran pengumpul. Bak inspeksi juga berfungsi untuk melakukan pemantauan di beberapa titik pertemuan pipa yang memiliki kedalaman kurang dari 1 m. Peletakan bak inspeksi direncanakan di berbagai titik pertemuan pipa dan di hulu saluran sebagai tempat penggelontoran. Bak inspeksi memiliki ukuran 50 cm x 50 cm. Pada perencanaan SPALD-S ini terdapat beberapa titik peletakan bak inspeksi yang dapat dilihat pada Tabel 6.17 berikut

Tabel 6. 17 Letak dan Jenis Bak Inspeksi pada SPALD-S

No.	Titik Bak Inspeksi	Jenis	Jumlah
1	a1	Pertigaan	1
2	a3	Pertigaan	1
3	b3	Pertigaan	1
4	c4	Belokan	1
5	c6	Belokan	1
6	d1	Belokan	1
7	d2	Belokan	1
8	d4	Pertigaan	1
9	d8	Perempatan	1
10	e4	Belokan	1
11	e6	Belokan	1

No.	Titik Bak Inspeksi	Jenis	Jumlah
12	f1	Belokan	1
Jumlah			12

Sumber: Hasil Perhitungan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 7

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH

7.1 Perencanaan IPALD Terpusat

Proses pengolahan yang akan diterapkan dalam sebuah IPALD ditentukan dengan mempertimbangkan data kuantitas dan kualitas air limbah domestik. Aspek teknis dan non teknis juga dipertimbangkan dalam penentuan unit pengolahan yang akan digunakan. Aspek teknis meliputi kemudahan operasional, ketersediaan SDM, kualitas efluen, dan jumlah lumpur yang dihasilkan. Aspek non teknis meliputi ketersediaan lahan dan biaya investasi serta operasional. Diagram alir proses pengolahan air limbah dapat dilihat pada lampiran.

Debit air limbah domestik berdasarkan hasil survei adalah 120,3 L/orang.hari. Perencanaan unit dalam menentukan dimensi adalah debit air limbah hari maksimum. Debit air limbah yang masuk ke dalam IPALD adalah

$$\begin{aligned}Q_r &= 120,3 \text{ L/orang.hari} \times 39074 \text{ jiwa} \\&= 4700 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,054 \text{ m}^3/\text{detik}\end{aligned}$$

Karakteristik air limbah domestik hasil uji laboratorium disajikan pada Tabel 7.1.

Tabel 7. 1 Karakteristik Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Konsentrasi Awal	Baku Mutu
pH	-	6,95	6 – 9
TSS	mg/L	272	30
COD	mg/L	376	100
BOD	mg/L	218	30
N	mg/L	47,75	10
P	mg/L	4,13	-
Minyak & lemak	mg/L	18	5
Total Coliform	MPN/100m	17×10^8	3000

Sumber: Hasil Analisa Laboratorium

Rasio BOD/COD perlu diperhatikan karena merupakan indikator untuk melihat tingkat degradasi air limbah. Rasio

BOD/COD pada air limbah domestik tersebut adalah 0,57. Rasio di atas 0,5 menandakan bahwa tingkat *biodegradable* air limbah tinggi sehingga penggunaan unit biologis dapat dilakukan. Selain rasio BOD/COD yang perlu diperhatikan adalah rasio BOD:N:P. Kebutuhan nutrisi dalam proses biologis bergantung pada unsur N dan P. Pengolahan aerobik menggunakan rasio BOD : N : P dengan rasio 100:5:1 dan pengolahan anaerobik menggunakan rasio BOD : N : P adalah 100:0,5:0,1. Air limbah dalam perencanaan ini memiliki rasio yaitu 218 : 47,75 : 4,13 atau bisa disederhanakan menjadi 100 : 21,8 : 1,89. Berdasarkan perbandingan tersebut diketahui jumlah N berada pada konsentrasi tinggi sehingga tidak memungkinkan penggunaan pengolahan secara aerobik saja. Pengolahan secara anoksik diperlukan untuk menurunkan konsentrasi N.

Sebelum memasuki unit IPAL, air limbah sudah mengalami penurunan kadar minyak dan lemak pada unit Grease Trap yang terletak di masing-masing SR. Karakteristik air limbah domestik setelah melewati unit Bak Pengendap dapat dilihat pada Tabel 7.2.

Tabel 7. 2 Karakteristik Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu
pH	-	6,95	6 – 9
TSS	mg/L	100	30
COD	mg/L	245	100
BOD	mg/L	142	30
N	mg/L	47,75	10
Minyak & lemak	mg/L	1,8	5
Total Coliform	MPN/100m	17×10^8	3000

7.1.1 Bak Ekualisasi

Bak Ekualisasi memiliki fungsi sebagai bak penampung sementara dan menstabilkan debit air limbah sebelum dipompa menuju bangunan selanjutnya

Direncanakan :

- Berbentuk persegi
- Jumlah bangunan 1 buah
- $Q_r = 54 \text{ L/s} = 0,054 \text{ m}^3/\text{detik}$

- Kedalaman pipa terakhir (H_{sew}) = 4,72 m
- Diameter pipa sewer = 350 mm = 0,35 m
- Q_{peak} dan Q_{min} diperoleh berdasarkan perhitungan berikut

$$Q_{\text{peak}} = Q_r \times f_p$$

f_p = melihat kurva pada Gambar 2.3

$$= 2,9$$

$$Q_{\text{peak}} = 0,054 \text{ m}^3/\text{detik} \times 2,9$$

$$= 0,108 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{\text{min}} = 0,2 \cdot (P/1000)^{1/6} \cdot Q_r$$

$$= 0,2 \cdot (45340/1000)^{1/6} \cdot 0,054 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 0,02 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Debit rata-rata yang didapatkan yakni 0,054 m³/s, diubah kedalam satuan volume dengan cara berikut ini :

$$\text{Volume} = Q \times 1 \text{ jam} \times 3600 \text{ detik/jam}$$

$$= 0,054 \text{ m}^3/\text{s} \times 1 \text{ jam} \times 3600 \text{ detik/jam}$$

$$= 194,4 \text{ m}^3$$

Kemudian debit untuk setiap waktunya, diubah kedalam satuan volume dengan mengalikan debit dan waktu. Jumlah kumulasi paling banyak pada jam sekian adalah volume bak ekualisasi. Berikut adalah Tabel 7.3 mengenai perhitungan volume setiap debit dan kapasitas penyimpanannya.

Tabel 7. 3 Fluktuasi Debit Air Limbah

Waktu (Jam)	Debit (m ³ /detik)	Volume masuk (m ³)	Volume Keluar (m ³)	Sisa (m ³)	Jumlah (m ³)
1	0,0200	72	194,4	-122,4	-122,4
2	0,0200	72	194,4	-122,4	-244,8
3	0,0222	80	194,4	-114,4	-359,2
4	0,0556	200	194,4	5,6	-353,6
5	0,0833	300	194,4	105,6	-248
6	0,1080	389	194,4	194,4	-53,6
7	0,0833	300	194,4	105,6	52
8	0,0694	250	194,4	55,6	107,6

Waktu (Jam)	Debit (m ³ /detik)	Volume masuk (m ³)	Volume Keluar (m ³)	Sisa (m ³)	Jumlah (m ³)
9	0,0556	200	194,4	5,6	113,2
10	0,0417	150	194,4	-44,4	68,8
11	0,0417	150	194,4	-44,4	24,4
12	0,0694	250	194,4	55,6	80
13	0,0556	200	194,4	5,6	85,6
14	0,0417	150	194,4	-44,4	41,2
15	0,0694	250	194,4	55,6	96,8
16	0,0556	200	194,4	5,6	102,4
17	0,0972	350	194,4	155,6	258
18	0,0972	350	194,4	155,6	413,6
19	0,0694	250	194,4	55,6	469,2
20	0,0417	150	194,4	-44,4	424,8
21	0,0278	100	194,4	-94,4	330,4
22	0,0278	100	194,4	-94,4	236
23	0,0222	80	194,4	-114,4	121,6
24	0,0200	72	194,4	-122,4	-0,8

Berdasarkan data diatas, volume bak ekualisasi adalah penjumlahan kumulatif sisa terkecil dengan terbesar.

$V_{\text{bak}} = 359,2 \text{ m}^3 + 469,2 \text{ m}^3 = 828,4 \text{ m}^3$, dengan rincian dimensi:

H direncanakan = 3 m

$$A_{\text{surface Bak Ekualisasi}} = \frac{\text{Volume}}{\text{Kedalaman}} = \frac{828,4 \text{ m}^3}{3 \text{ m}} = 276 \text{ m}^2$$

$$P=L=\sqrt{276} = 16,6 \text{ m} \approx 17 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume cek} &= 17 \times 17 \times 3 \\ &= 867 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan:

- Dasar bak ekualisasi direncanakan miring dengan kemiringan 5 % menuju sumur pompa.
- Kedalaman pipa inlet = 2,17 m (elevasi + 2,1 m)
- *Freeboard* dari pipa inlet direncanakan 0,3 m
- Elevasi muka air + 1,8 m
- Kedalaman total bak ekualisasi = 3m + 2,17m + 0,3m = 5,5 m

Pemompaan

Sumur pompa direncana berukuran 3m x 3m dengan kedalaman sama dengan kedalaman bak ekualisasi.

$Q_{hmax} = 0,054 \text{ m}^3/\text{detik}$

Jumlah Pompa 2 buah, sebagai cadangan 1

$V_{pompa} = 1 \text{ m/detik}$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = 0,26 \text{ m} \approx 300 \text{ mm}$$

Headloss Pompa

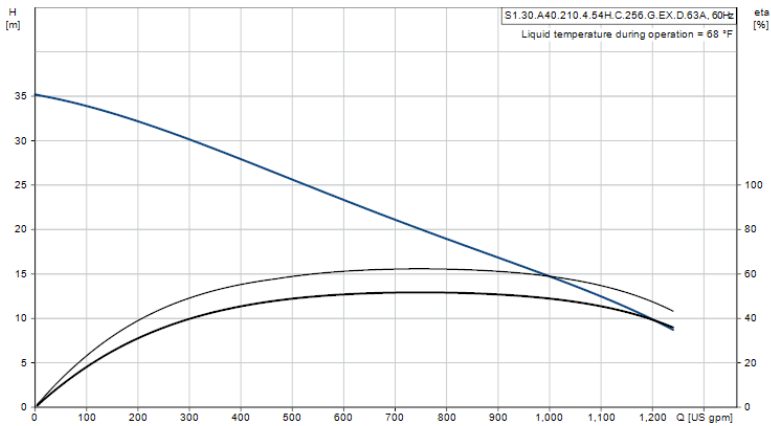
H statis direncanakan = 7,5 m (elevasi + 5,4 m)

L distribusi direncanakan = 12 m

$$\begin{aligned} H_f &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left(\frac{0,054}{0,00155 \times 120 \times 300^{2,63}} \right)^{1,85} \times 12 \\ &= 1,36 \times 10^{-12} \text{ m (diabaikan karena terlalu kecil)} \end{aligned}$$

Pemilihan Pompa

Pemilihan pompa menggunakan bantuan grafik Pompa Grundfos di www.grundfos.com. Pompa submersible yang sesuai dengan debit dan head pemompaan adalah jenis pompa Grundfos S1.30.A40.210.4.54H.C.256.G.EX.D.63A - 97660604. Spesifikasi pompa dapat dilihat pada Gambar 7.1



Gambar 7. 1 Spesifikasi Pompa Bak Ekualisasi

Spesifikasi pompa

$Q_{\max} = 0,078 \text{ m}^3/\text{s}$

$H_{\max} = 35,2 \text{ m}$

Power = 21 kW

7.1.2 Barscreen

Penyaringan sampah yang masuk ke pipa suction pompa didalam sumur pengumpul diberi screen atau penyaring. Barscreen diletakkan sebelum pompa pada sumur pengumpul sehingga sampah tidak akan masuk dan menyumbat pompa.

Direncanakan :

$Q = 54 \text{ L/s} = 0,054 \text{ m}^3/\text{s}$

Jumlah bar screen = 1 unit

Lebar screen = lebar sumur pompa = 3 m

Pembersihan dilakukan secara mekanik

Slope screen = 60° (pembersihan manual)

Jarak antar batang (b) = 50 mm = 0,05 m

Kecepatan melalui celah = 0,6 – 1 m/s

Lebar bar (w) = 10 mm = 0,01 m

Perhitungan :

Jumlah bar (n) :

Lebar saluran (B) = (n x w) + ((n + 1) x b)

$$3 \text{ m} = (n \times 0,01) + ((n + 1) \times 0,05 \text{ m})$$

$$3 \text{ m} = 0,01 n + 0,05 n + 0,05$$

Jumlah bar (n) = 55 bar

Jumlah bukaan antar bar (s) :

$$\text{Jumlah bukaan antar bar (s)} = 55 + 1$$

$$= 56 \text{ bukaan}$$

Lebar bukaan antar bar total (Lt) :

$$\text{Lebar bukaan antar bar total (Lt)} = b \times (n + 1)$$

$$= 0,05 \times 56$$

$$= 2,6 \text{ m}$$

Panjang kisi yang terendam air (Ls) = 3 m

$$\text{Koefisien efisiensi } (\eta) = \frac{L_t}{B} \times 100\% = \frac{2,6}{3} \times 100\% = 82,5 \%$$

Kecepatan aliran saat melalui kisi:

$$V_s = \frac{Q}{L_t \times L_s} = \frac{0,054}{12,5 \times 3} = 0,001 \text{ m/s}$$

$$h_f = \beta \times \left[\frac{w \times n}{b(n+1)} \right]^{\frac{4}{3}} \times \left[\frac{v_s^2}{2g} \right] \times \sin \alpha$$

$$= 2,42 \times \left[\frac{0,01 \times 203}{0,05(204)} \right]^{\frac{4}{3}} \times \left[\frac{0,001^2}{2,9,81} \right] \times \sin 60 = 0,0032 \text{ m}$$

7.1.3 Bak Pengendap 1

Direncanakan :

- Bak berbentuk rectangular
- Q = 54 L/s = 0,054 m³/s
- Jumlah unit = 2 unit
- Q_{bak} = 0,027 m³/s
- %removal BOD = 35%
- Dimensi panjang : lebar = 3 : 1
- Temperatur air = 23°C
- $\mu = 0,9403 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Dimensi Bak Pengendap I

$$td = \frac{\%R \times a}{(1 - (b \times \%R))} = \frac{35 \times 0,02}{(1 - (0,018 \times 35))} = 1,9 \text{ jam} \approx 2 \text{ jam}$$

$$\% \text{ removal TSS} = \frac{td}{a + b \times td} = \frac{2}{(0,014 + (0,015 \times 2))} = 70\%$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Permukaan (As)} &= \frac{Q}{OFR} \times 86400 \\ &= \frac{0,027}{40} \times 86400 = 58,32 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Perbandingan panjang dan lebar adalah $P = 3L$

$$\text{Lebar bak (L)} = \sqrt{\frac{As}{3}} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Panjang bak (P)} = 3 \times L = 3 \times 4,5 \text{ m} = 13,5 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi bak (H)} = \frac{Q \times t_d}{As} = \frac{0,027 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 7200 \text{ s}}{58,2 \text{ m}^2} = 3,3 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard} = 0,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan Horizontal (Vh)} &= Q/Ac \\ &= 0,027 \text{ m}^3/\text{s} / 7 \text{ m} \times 3,3 \text{ m} \\ &= 0,003 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Kecepatan scoring (V_{sc}) : ($k = 0,04$; $f = 0,02$)

$$V_s = \frac{Q}{A_{surface}} = \frac{0,27 \text{ m}^3/\text{s}}{221,4 \text{ m}^2} = 0,00046 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned}d \text{ partikel} &= [(18 \times V_s \times U) / (g (S_g - 1))]^{1/2} \\ &= [(18 \times 0,00046 \times 0,9403 \cdot 10^{-6}) / (9,81 (1,02 - 1))]^{1/2} \\ &= 0,0002 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{sc} &= [(8k (S_g - 1) \times d \times g) / f]^{1/2} \\ &= [(8 \cdot 0,04 (1,02 - 1) \times 0,0002 \times 9,81) / 0,02]^{1/2} \\ &= 0,025 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$V_h < V_{sc}$ (memenuhi) tidak terjadi penggerusan

Kontrol N_{re} dan N_{fr} :

$$\begin{aligned}\text{Jari – jari hidrolis (R)} &= (h \times b) / (2h + b) \\ &= (3,3 \times 7) / (2 \cdot 3,3 + 7) \text{ m} = 1,69 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N_{re} &= (V_h \times R) / U \\ &= (0,003 \times 1,69) / 0,9403 \cdot 10^{-6} \\ &= 5391 > 2000 \text{ (tidak memenuhi)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N_f &= V_h^2 / (g \times R) \\ &= (0,003)^2 / (9,81 \times 1,69) \\ &= 0,000000507 < 10^{-5} \text{ (tidak memenuhi)}\end{aligned}$$

Karena NFr lebih kecil dari 10^{-5} dan Nre lebih besar dari 2000, maka perlu dipasang perforated baffle di zona inlet untuk mencegah aliran pendek dan agar alirannya menjadi lebih laminar sehingga partikel mempunyai kesempatan mengendap yang lebih lama.

Zona Inlet

Saluran Pembawa

- $Q \text{ saluran} = 71 \text{ L/s} = 0,071 \text{ m}^3/\text{s}$
- Jumlah saluran pembawa = 1 buah
 - $V \text{ asumsi} = 0,6 \text{ m/s}$
 - Lebar : kedalaman = 2 : 1
 - Slope = 0,0001
 - Panjang (L) = 5 m
 - Koefesien gesek (n) = 0,015
 - Kedalaman (h) = $[(1,5874 \times Q \times n) / (2 \times \text{slope})^{1/2}]^{3/8}$
 $= [(1,5874 \times 0,071 \times 0,015) / (2 \times 0,0001)^{1/2}]^{3/8}$
 $= 0,5 \text{ m}$
 - Lebar (w) = h = 0,5 m
 - Freeboard = 0,3 m
- Head loss (hf) = $[(V \times n) \times ((w + 2h)^{2/3}) \times L^{1/2}]^2$
 $= [(0,6 \times 0,015) \times (0,5 + 2 \times 0,5)^{2/3} \times 5^{1/2}]^2$
 $= 0,0015 \text{ m}$
- Head kecepatan (hv) = $\frac{v^2}{2g}$
 $= (0,6^2 / 2 \times 9,81) = 0,018 \text{ m}$
- Head loss total = hf + hv
 $= 0,0015 \text{ m} + 0,018 \text{ m} = 0,0195 \text{ m}$

Saluran Pembagi

- $Q \text{ saluran} = 36 \text{ L/s} = 0,036 \text{ m}^3/\text{s}$
- Jumlah saluran pembawa = 2 buah
 - $V \text{ asumsi} = 0,6 \text{ m/s}$
 - Lebar : kedalaman = 2 : 1
 - Slope = 0,0001
 - Panjang (L) = 5 m
 - Koefesien gesek (n) = 0,015

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman (h)} &= [(1,5874 \times Q \times n) / (2 \times \text{slope})^{1/2}]^{3/8} \\ &= [(1,5874 \times 0,036 \times 0,015) / (2 \times 0,0001)^{1/2}]^{3/8} \\ &= 0,3 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Lebar (w)} = 2h = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard} = 0,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Head loss (hf)} &= [(V \times n) \times ((w + 2h)^{2/3}) \times L^{1/2}]^2 \\ &= [(0,6 \times 0,015) \times (0,3 + 2 \cdot 0,3)^{2/3}) \times 5^{1/2}]^2 \\ &= 0,0015 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Head kecepatan (hv)} &= \frac{v^2}{2g} \\ &= (0,6^2 / 2 \cdot 9,81) = 0,018 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Head loss total} &= hf + hv \\ &= 0,0015 \text{ m} + 0,018 \text{ m} = 0,0195 \text{ m}\end{aligned}$$

Pintu Air

Direncanakan :

- Lebar pintu rencana (B) = lebar saluran pembagi
= 0,6 m
- Q pintu air = Q tiap bak = 0,104 m³/d
- Tinggi pintu rencana (h) = tinggi saluran pembagi
= 0,6 m

Perforated Baffle

Direncanakan :

- Diameter lubang = 10 cm = 0,1 m
- Lebar baffle (b) = lebar bak = 4,5 m
- Tinggi baffle (h) = Tinggi bak = 3,3 m
- Kecepatan melalui lubang (v) = 0,5 m/s
- Perforated baffle diletakkan 2 m di depan inlet
- Tebal baffle = 0,1 m

Perhitungan :

- Luas tiap lubang (A) = $\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 0,1^2 = 0,0078 \text{ m}^2$
- Luas baffle yang terendam air = b x h
= 4,5 x 3,3 = 16,5 m²
- Luas total lubang (A total) = 60% x A baffle
= 60% x 16,5 m² = 9,9 m²
- Jumlah lubang (n) = A total / Luas tiap lubang
= 9,9 m² / 0,0078 m² = 1270 buah
- Q lubang = $\frac{Q \text{ bak}}{n} = \frac{0,036}{1270} = 0,000028 \text{ m}^3/\text{s}$

- Susunan antar lubang = P : H = 5 : 3
- Jumlah lubang horizontal

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lubang} &= 5x \cdot 3x \\ 1270 &= 15x^2 \\ x &= 9 \end{aligned}$$
- Susunan lubang
 Horizontal = 45 buah
 Vertikal = 27 buah
- Jarak horisontal antar lubang (sh)

$$\begin{aligned} &= [(\text{lebar baffle} - (\text{jumlah lubang} \times d)) / (\text{jumlah lubang} + 1)] \\ &= [(4,5 - (45 \times 0,1)) / (45 + 1)] \\ &= 0,02 \text{ m} \end{aligned}$$
- Jarak vertikal antar lubang

$$\begin{aligned} &= [(\text{tinggi baffle} - (\text{jumlah lubang} \times d)) / (\text{jumlah lubang} + 1)] \\ &= [(3,3 - (27 \times 0,1)) / (27 + 1)] \\ &= 0,02 \text{ m} \end{aligned}$$
- Cek nilai N_{re} pada tiap lubang
- $(V_h \times R) / U = (Q/A) \cdot (A / \pi D) / U$
- $N_{re} = (Q / \pi D) / U$

$$\begin{aligned} &= (0,000105 / 3,14 \times 0,10) / 0,9403 \cdot 10^{-6} \\ &= 355 < 2000 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$
- $N_{fr} = (Q/A)^2 / (g \times (A / \pi D))$

$$\begin{aligned} &= (0,000105 / 0,0078)^2 / (9,81 \times 0,0078 / (3,14 \times 0,1)) \\ &= 0,00074 > 10^{-5} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Zona Lumpur

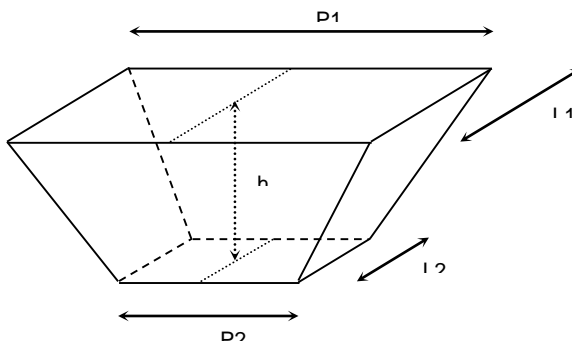
Direncanakan :

- Ruang lumpur berbentuk limas terpancung dengan periode pengurasan 1 hari sekali
- Slope zona pengendapan = 0,5 %
- Removal TSS = 70 %
- TSS air limbah = 272 mg/L
- Konsentrasi Diskrit dan grit = 90 % x Konsentrasi SS
- Kadar air dalam lumpur = 99 %
- Kadar SS kering dalam lumpur = 1 %
- Berat jenis SS = 2650 kg/m³
- Berat jenis air = 995 kg/m³

Perhitungan :

- Konsentrasi Diskrit dan grit = 90 % x Konsentrasi SS
= 90 % x 272 mg /L
= 245 mg/L
- Sludge teremoval = 70 % x Konsentrasi Diskrit dan grit
= 70 % x 245 mg/L
= 172 mg/L
- Sludge lolos = 272 mg/L – 172 mg/L = 100 mg/L
- Berat solid terendapkan
= 172 mg/L x Q
= 172 mg/L x 0,027 m³/s x 86400/1000
= 401 kg/hari
- Berat jenis lumpur
= [berat jenis SS x 1%] + [berat jenis air x 99%]
= [2650 x 1%] + [995 x 99%]
= 1011
- Berat air = (99 % / 1 %) x berat solid terendapkan
= (99 % / 1 %) x 401 kg/hari
= 7619 kg/hari

- Volume ruang lumpur
= (berat lumpur + berat air)/berat jenis lumpur
= (401 kg/hari + 7619 kg/hari) / 1011 kg/m³
= 8 m³/hari



Gambar 7. 2 Sketsa Ruang Lumpur Bak Pengendap

- Panjang perm zona lumpur (P1) = 4,5 m
- Lebar perm zona lumpur (L1) = 3,5 m
- Panjang dasar zona lumpur (P2) = 3,5 m
- Lebar dasar ruang lumpur (L2) = 2,5 m
- Luas perm (A1) = P1 x L1
= 4,5 m x 3,5 m = 15,75 m²
- Luas perm (A2) = P2 x L2
= 2,5 m x 1,5 m = 3,75 m²

$$\text{Volume ruang lumpur} = \frac{1}{3} \times h \times (A1 + A2 + \sqrt{(A1 \times A2)})$$

$$8 \text{ m}^3 = \frac{1}{3} \times h \times (15,75 + 3,75 + (15,75 \times 3,75)^{1/2})$$

$$H = 1 \text{ m}$$

Pengurasan

Pengurasan dilakukan tiap 1 hari dengan volume lumpur sebesar 8 m³. Lama waktu pengurasan direncanakan 20 menit dan kecepatan pengurasan direncanakan 1 m/s

$$Q \text{ pompa} = \frac{\text{Volume lumpur 1 hari}}{\text{waktu pengurasa}} = \frac{8 \text{ m}^3}{1200 \text{ s}} = 0,0083 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = 0,3 \text{ m} = 300 \text{ mm}$$

- V asumsi pipa = 1 m/s
- Luas (A) pipa = Q lumpur / v pipa
= 0,0083 m³/s / 1 m/s
= 0,0083 m²
- Diameter pipa penguras = $[(4 \times Q) / 3,14 \times V]^{1/2}$
= $[(4 \times 0,0083 \text{ m}^2) / 3,14]^{1/2}$
= 0,1 m = 100 mm
- V cek = Q/A
= 0,0083 m³/s / (1/4 π D²)
= 1,02 m/s (memenuhi)
- Head pompa = tinggi pipa penguras + angka keamanan
= 5 m + 3 m = 8 m
- Daya pompa (efisiensi 75%) :
Densitas = 1000 kg/m³
Power Pompa = $g \times Q \text{ tiap pompa} \times H_f \text{ total} \times \text{densitas}$
= 9,81 x 0,00831 m³/s x 8 m x 1000 kg/m³
= 651 watt

Efisiensi pompa = 75 %
 = 651 watt / 75 %
 = 868 watt

Zona Outlet

Weir dan gutter

Zona outlet bak prasedimentasi ini berupa weir dengan perencanaan sebagai berikut :

- Weir Loading Rate (WLR) = $186 \text{ m}^3/\text{m.hari}$
 = $0,00215 \text{ m}^3/\text{m.s}$
- $Q = 27 \text{ L/s} = 0,027 \text{ m}^3/\text{s}$
- Jumlah gutter = 8 buah
- Panjang total weir (L_{total}) = Q / WLR
 = $0,027 \text{ m}^3/\text{s} / 0,00215 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{s}$
 = 17 m
- Lebar bak (w) = 5 m
- Tebal gutter (t) = 0,05 m
- Jarak antar weir (b) = 0,5 m
- Lebar gutter (s)
 (w = lebar bak ; a = lebar gutter ; t = tebal weir)
 $w = (n \times a) + (n - 1) b + [(n \times 2) - 2] \times t$
 $5 = (8 \times a) + (8 - 1) 0,5 + [(8 \times 2) - 2] \times 0,1$
 $a = 0,15 \text{ m}$
- Panjang tiap weir (c)
 $L = (2 \times n) a + (2n-2) c$
 $17 = (2 \times 8) 0,15 + (2 \times 8 - 2) c$
 $c = 1,5 \text{ m}$

Tinggi air di atas weir (h) ; $C_d = 0,6$

$$Q = \left(\frac{2}{3} \times C_d \times L \times \sqrt{2 \times 9,81} \right) \times h^{3/2}$$

$$0,027 \text{ m}^3/\text{s} = [2/3 \times 0,6 \times 1,5 \times (2 \times 9,81)^{1/2}] \times h^{3/2}$$

Tinggi air di atas weir (h) = 0,015 m

Dimensi saluran gutter

$$\begin{aligned}v &= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times s^{1/2} \\0,6 \text{ m/s} &= 1/0,015 \times R^{2/3} \times 0,001^{1/2} \\R &= 0,28 \text{ m} \\ \text{jari – jari hidrolis (R)} &= (h \times a)/(2h + a) \\0,27 \text{ m} &= (h \times 0,15)/(2 \cdot h + 0,3) \\h &= 0,15 \text{ m}\end{aligned}$$

Saluran Pengumpul

Saluran pengumpul direncanakan menggunakan pipa

Jumlah pipa 1 buah

$$Q \text{ pipa} = Q_{\text{bak}} = 0,027 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Panjang pipa} = 20 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan (v) pipa} = 0,5 \text{ m/dt}$$

Diameter pipa

$$\begin{aligned}A &= Q / v \\&= 0,027 \text{ m}^3/\text{detik} : 0,5 \text{ m/dt} = 0,054 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$D = \left(\frac{4A}{\pi}\right)^{1/2} = \left(\frac{4 \times 0,054}{3,14}\right)^{1/2} = 0,27 \text{ m} \approx 300 \text{ mm}$$

Headloss (Hf)

$$\begin{aligned}Hf &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}}\right)^{1,85} \times L \\&= \left(\frac{0,027}{0,00155 \times 120 \times 30^{2,63}}\right)^{1,85} \times 20 \\&= 0,1 \text{ m}\end{aligned}$$

Elevasi Muka Air

Direncanakan:

- Elevasi pipa inlet = + 5,4 m)
- *Freeboard* dari pipa inlet direncanakan 0,3 m
- Elevasi muka air = + 5,1 m
- Elevasi muka air inlet unit selanjutnya = + 5,0 m

7.1.4 Tangki Aerasi

Tangki aerasi adalah salah satu alternatif unit pengolahan lumpur aktif secara aerobik. Pada perencanaan ini akan digunakan pengolahan dengan tipe *Completely Mixed* yang berarti air limbah dialirkan dan diproses di tangki aerasi dan akan dilakukan pemisahan pada unit pengendap kedua.

Direncanakan

Terdapat 2 unit Tangki Aerasi

Q rata tiap tangki	= 4700 m ³ /hari : 2
	= 2350 m ³ /hari
Waktu tinggal lumpur (SRT)	= 1 – 30 hari
Rasio F/M	= 0,1 – 0,6
Waktu detensi (td)	= 3 – 6 jam
MLSS	= 2500 – 4000 mg/l
Rasio resirkulasi (R/Q)	= 0,25 – 1,5
Efisiensi <i>Removal</i> BOD	= 85 – 99%
BOD in	= 218 mg/L x (100-35 %)
	= 141,7 mg/L = 0,1417 kg/m ³
TKN	= 47,75 mg/l = 0,047 kg/m ³
Total P	= 4,13 mg/l = 0,004 kg/m ³

Tangki aerasi dengan proses nitrifikasi, konstanta kinetik yang digunakan berdasarkan Metcalf, 2014 adalah:

μ_{mn}	= 0,9 – 1 g VSS/g VSS.hari
k_n	= 0,5 g NH ₄ -N/m ³
Y_n	= 0,10 – 0,15 g VSS/g NH ₄ -N
k_{dn}	= 0,17 g VSS/g VSS.hari
K_D	= 0,4 – 0,6 g/m ³

Perhitungan Tangki Aerasi dengan Nitrifikasi

- Perhitungan laju pertumbuhan spesifik mikroorganisme

Asumsi Suhu air	= 20°C
μ_{mn}	= 0,9 g VSS/g VSS.hari
k_n	= 0,5 g NH ₄ -N/m ³
Y_n	= 0,15 g VSS/g NH ₄ -N
k_{dn}	= 0,17 g VSS/g VSS.hari
K_D	= 0,5
Rasio MLVSS/MLSS	= 0,8

Asumsi $\text{NH}_4\text{-N}$ sisa (N_e) = 10 mg/L
 O_2 terlarut (DO) = 2 mg/L

$$\begin{aligned}\mu_n &= \left(\frac{\mu_{mn} \times N_e}{K_n + N_e} \right) \times \left(\frac{DO}{K_D + DO} \right) - K_{dn} \\ &= \left(\frac{0,9 \times 10}{0,5 + 10} \right) \times \left(\frac{2}{0,5 + 2} \right) - 0,17 \\ &= 0,4 \text{ g/g.hari}\end{aligned}$$

- Perhitungan SRT Teoritis

$$\begin{aligned}\text{SRT teoritis} &= \frac{1}{\mu_n} \\ &= \frac{1}{0,4} = 2,5 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{SRT desain} &= \text{faktor keamanan} \times \text{SRT teoritis} \\ &= 1,5 \times 2,5 = 3,75 \text{ hari} \approx 4 \text{ hari}\end{aligned}$$

- Perhitungan S_e (bCOD effluen)

$$k_d = 0,088 \text{ g VSS/g VSS.hari}$$

$$\mu_m = 3,5 \text{ g VSS/g VSS.hari}$$

$$k_s = 8 \text{ g bCOD/m}^3$$

$$\begin{aligned}S_e &= \frac{k_s \times (1 + (k_d \times \text{SRT}))}{(\text{SRT} \times (\mu_m - k_d)) - 1} \\ &= \frac{8 \times (1 + (0,088 \times 4))}{(4 \times (3,5 - 0,088)) - 1} = 1,31 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\text{bCOD} = 1,6 \times \text{BOD}$$

$$\begin{aligned}\text{BOD} &= \frac{\text{bCOD}}{1,6} \\ &= \frac{1,31}{1,6} = 0,82 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\% \text{ Removal BOD} = \frac{(141,7 - 0,82)}{141,7} \times 100\% = 99,5\%$$

$$\% \text{ Removal COD} = 85\text{-}90 \text{ \% (Permen PUPR, 2017)}$$

$$\begin{aligned}\text{COD ef} &= 245 \text{ mg/L} \times (100 - 85 \text{ \%}) \\ &= 36,75 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\% \text{ Removal TSS} = 80\text{-}90 \text{ \% (Permen PUPR, 2017)}$$

$$\begin{aligned}\text{TSS ef} &= 100 \text{ mg/L} \times (100 - 80 \text{ \%}) \\ &= 20 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

- Perhitungan Produksi Biomassa

$$Q_h = 2350 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$k_d = 0,12 \text{ g VSS/g VSS.hari}$$

$$\begin{aligned}
 f_d &= 0,15 \\
 \text{Asumsi bCOD} &= 1,6 \times \text{BOD} \\
 \text{bCOD influen (S}_0\text{)} &= 1,6 \times \text{BOD influen} \\
 &= 1,6 \times 141,7 = 226,7 \text{ mg/l} \\
 \text{Asumsi NO}_x &= 80\% \text{ TKN} \\
 &= 80\% \times 47,75 \text{ mg/L} = 38,2 \text{ mg/L} \\
 P_{x \text{ total}} &= \frac{Q \times Y \times (S_0 - S_e)}{1 + (K_d \times SRT)} + \frac{f_d \times K_d \times Q \times (S_0 - S_e) \times SRT}{1 + (K_d \times SRT)} + \frac{Q \times Y_n \times \text{NO}_x}{1 + (K_d \times SRT)} \\
 &= \frac{2350 \times 0,4 \times (141,7 - 0,82)}{1 + (0,12 \times 4)} + \frac{0,15 \times 0,12 \times 2350 \times (141,74 - 0,85) \times 4}{1 + (0,12 \times 4)} + \frac{2350 \times 0,12 \times 38,2}{1 + (0,08 \times 4)} \\
 &= 124903 \text{ g/hari} = 124,9 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Nutrien

$$\begin{aligned}
 N_{\text{sel building}} &= \frac{12\% \times P_x}{Q} \\
 &= \frac{12\% \times 124,9}{2350} = 0,0064 \text{ kg/m}^3 = 6,4 \text{ mg/l} \\
 N_{\text{influen}} &= \text{TKN} = 47,75 \text{ mg/L} \\
 N_{\text{effluen (N}_e\text{)}} &= 10 \text{ mg/L} \\
 \text{Nitrogen Teroksidasi (NO}_x\text{)} &= N_{\text{influen}} - N_e - N_{\text{sel building}} \\
 &= 47,75 - 10 - 6,4 = 31,35 \text{ mg/L} \\
 P_{\text{sel building}} &= \frac{6,6\% \times P_x}{Q} \\
 &= \frac{6,6\% \times 350,8}{6610} = 0,0035 \text{ kg/m}^3 = 3,5 \text{ mg/l} \\
 P_{\text{influen}} &= 4,13 \text{ mg/L} \\
 P_{\text{effluen}} &= P_{\text{influen}} - P_{\text{sel building}} \\
 &= 4,13 - 3,5 = 0,63 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Karakteristik air limbah domestik setelah melewati unit Tangki Aerasi dapat lihat pada Tabel 7.4.

Tabel 7. 4 Karakteristik Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu
pH	-	6,95	6 – 9
TSS	mg/L	20	30
COD	mg/L	36,75	100

Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu
BOD	mg/L	0,82	30
N	mg/L	10	10
Minyak & lemak	mg/L	1,8	5
Total Coliform	MPN/100m	17×10^8	3000

- Perhitungan Volume Tangki Aerasi

$$\text{MLSS reaktor} = 3000 \text{ mg/L}$$

$$\text{MLVSS (X)} = 80\% \times \text{MLSS}$$

$$= 80\% \times 3000 = 2400 \text{ mg/l}$$

$$X = \left(\frac{SRT}{td} \right) \times Px \text{ total}$$

$$X = \left(\frac{SRT}{\frac{V}{Q}} \right) \times Px \text{ total}$$

$$\text{Volume tangki (V)} = \left(\frac{4 \times 2350}{2400} \right) \times 124,9$$

$$= 149,5 \text{ m}^3 \approx 150 \text{ m}^3$$

$$\text{Cek HRT} = \frac{V}{Q} = \frac{150}{2350} = 0,06 \text{ hari} = 1,5 \text{ jam}$$

- Rasio Resirkulasi Tangki Aerasi

$$Q_{in} = 2350 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$X_{in} = Y \times \text{BOD}_{in}$$

$$= 0,6 \text{ kg VSS/kg BOD}_5 \times 142 \text{ mg/L}$$

$$= 85,2 \text{ mg/L}$$

$$Q_r/Q = 0,6$$

$$Q_r = 0,6 \times Q$$

$$= 0,6 \times 2350 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 1410 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$(Q_{inf} \times X_{inf}) + (Q_r \times X_r) = (Q_{inf} + Q_r) \times X$$

$$(2350 \times 85,2) + (1410 \times X_r) = (2350 + 1410) \times 2400$$

$$X_r = X_w = 8409,8 \text{ mg/L}$$

$$\text{Sludge waste (Q}_w\text{)}$$

$$= \frac{Px \text{ total}}{X_w}$$

$$= \frac{124,9}{8,4} = 14,8 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- Perhitungan Rasio F/M dan BOD loading rate

$$\begin{aligned}\text{Cek rasio F/M} &= \frac{Q \times BOD_{in}}{X \times V} \\ &= \frac{2350 \times 141,7}{2400 \times 420} = 0,260 \text{ g/g.hari} \\ \text{Cek BOD Loading Rate} &= \frac{Q \times BOD_{in}}{V} \\ &= \frac{2350 \times 141,7}{150} \\ &= 2,22 \text{ kg/m}^3.\text{hari}\end{aligned}$$

- Perhitungan Transfer O₂

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan O}_2 \text{ (R}_o\text{)} \\ &= Q \times (S_o - S_e) - 1,42 \times P_x + 4,33 \times Q \times \text{NO}_x \\ &= 2350 \times (141,7 - 0,82) - 1,42 \times 124,9 \\ &\quad + 4,33 \times 2350 \times 31,25 \\ &= 330 - 177,8 + 318 \\ &= 470 \text{ kg O}_2/\text{hari}\end{aligned}$$

- Kebutuhan Aerator

Aerator yang digunakan adalah dengan jenis *difused aerator*. Menurut lembar spesifikasi yang ada, *difused aerator* yang digunakan adalah Tipe APEX 7 dengan laju transfer O₂ 10 kg O₂/jam dan daya 7,5 kW.

$$\text{Trf O}_2 \text{ aerator per daya (N}_o\text{)} = \frac{10}{7,5} = 1,3 \text{ kg O}_2/\text{kW.jam}$$

$$\text{Faktor koreksi transfer O}_2 \text{ (}\alpha\text{)} = 0,85$$

$$\text{Faktor koreksi surf tension (}\beta\text{)} = 1$$

$$\text{O}_2 \text{ jenuh pada suhu 20}^\circ\text{C (C}_s\text{)} = 9,1 \text{ mg/l}$$

$$\text{O}_2 \text{ pada saat operasi (C}_L\text{)} = 2 \text{ mg/l}$$

$$\text{Transfer O}_2 \text{ sebenarnya (N)}$$

$$= N_o \times \left(\frac{\beta \times C_s - C_L}{9,17} \right) \times 1,024^{T-20} \times \alpha$$

$$= 1,3 \times \left(\frac{19,1-2}{9,17} \right) \times 1,024^{20-20} \times 0,85 = 0,86 \text{ kg O}_2/\text{kW.jam}$$

$$\text{Laju transfer O}_2 \text{ 1 aerator}$$

$$= 0,86 \times 7,5 = 6,45 \text{ kg O}_2/\text{jam}$$

$$= 154,8 \text{ kg O}_2/\text{hari}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah aerator dibutuhkan} &= \frac{R_o}{\text{laju trf O}_2 \text{ aerator sebenarnya}} \\ &= \frac{470}{154,8} = 3 \text{ buah}\end{aligned}$$

Pipa distribusi udara terbagi menjadi dua yaitu pipa *manifold* dan pipa lateral. Pipa *manifold* menyalurkan udara dari aerator dan membaginya ke pipa lateral dan diteruskan ke diffuser. Pada umumnya, diameter yang digunakan pada pipa manifold tangki aerasi adalah 6 in dan pipa lateral 4 in. Difuser yang digunakan pada perencanaan ini menggunakan jenis *Disc Diffuser* berdiameter 9 in dengan kecepatan distribusi $0,25 - 0,5 \text{ m}^3$ udara per jam.

Kebutuhan Disc Diffuser tiap Aerator

Laju transfer udara pada tiap aerator adalah $154,8 \text{ kg O}_2/\text{hari}$ atau $129 \text{ m}^3/\text{hari}$.

$$\text{Kebutuhan diffuser} = \frac{129 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,25 \text{ m}^3/\text{jam} \times 24 \text{ jam}} = 21 \text{ disc}$$

Direncanakan jumlah pipa lateral tiap aerator adalah 3 sehingga jumlah disc tiap pipa lateral adalah 7.

- Dimensi Tangki Aerasi

Menurut lembar spesifikasi aerator Tipe APEX 7 dapat beroperasi pada kedalaman air hingga 1-4,5 meter.

Direncanakan:

$$\text{Volume tangki (V)} = 150 \text{ m}^3$$

$$\text{Kedalaman air (h)} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard} = 0,5 \text{ m}$$

$$P = 2L$$

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan (As)} &= \frac{V}{h} \\ &= \frac{150}{3} = 50 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar tangki (L)} &= \frac{As}{L} \\ &= \sqrt{\frac{50}{2}} = 5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$P = 2 \times 5 \text{ m} = 10 \text{ m}$$

- Zona Inlet

Zona inlet menggunakan saluran berupa pipa yang sama dengan saluran pengumpul pada unit bak pengendap 1 sebelumnya. Pipa inlet berada di bagian dasar tangki aerasi.

- Zona Outlet

Direncanakan:

Jumlah pipa 1 buah

Q pipa = Q_{bak} = 0,027 m³/detik

Panjang pipa = 20 m

Kecepatan (v) pipa = 0,5 m/detik

Perhitungan:

Diameter pipa

$$A = Q / v$$

$$= 0,027 \text{ m}^3/\text{detik} : 0,5 \text{ m/dt} = 0,054 \text{ m}^2$$

$$D = \left(\frac{4A}{\pi} \right)^{1/2} = \left(\frac{4 \times 0,054}{3,14} \right)^{1/2} = 0,27 \text{ m} \approx 300 \text{ mm}$$

Headloss (H_f)

$$\begin{aligned} H_f &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left(\frac{27}{0,00155 \times 120 \times 30^{2,63}} \right)^{1,85} \times 20 \\ &= 0,1 \text{ m} \end{aligned}$$

Elevasi Muka Air

- Elevasi muka air Tangki Aerasi = + 3,7 m
- Elevasi muka air inlet unit selanjutnya = + 3,6 m

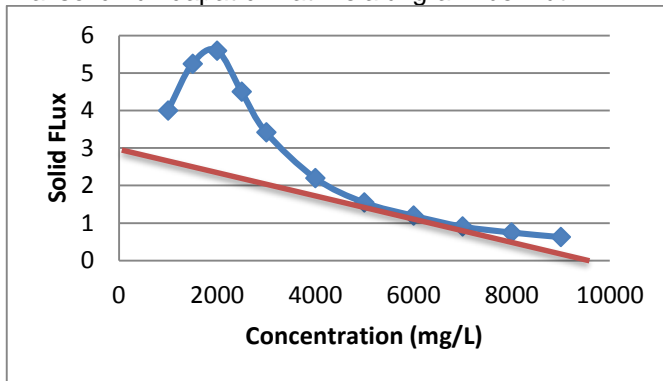
7.1.6 Clarifier

Bak Pengendap II ini adalah untuk mengendapkan flok – flok atau lumpur yang dihasilkan oleh effluen Tangki Aerasi. Hasil endapan ini akan dibuang sebagai ataupun dikembalikan sebagai *return sludge*. Adapun faktor – faktor yang menjadi pertimbangan dalam desain adalah tipe tangki yang digunakan, karakteristik pengendapan sludge, kecepatan aliran, penempatan weir dan *weir loading rate*.

- Direncanakan 2 buah *secondary clarifier* berbentuk lingkaran
- Q tiap bak = $2350 \text{ m}^3/\text{hari}$
- $X_{MLSS} = 3000 \text{ mg/L} = 3 \text{ kg/m}^3$
- Sludge Waste (Q_w) = $37,5 \text{ m}^3/\text{hari}$

Dimensi Secondary Clarifier

- Dari grafik didapatkan untuk $X = 3000$ memiliki nilai $SF = 3$
Nilai solid flux dapat dilihat melalui grafik berikut:



Gambar 7. 3 Hubungan Solid Flux dengan MLSS

- Luas Permukaan SC (A_s) =
$$\frac{Q \cdot X}{SF} = \frac{98 \text{ m}^3/\text{jam} \cdot 3 \text{ kg/m}^3}{3 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{jam}} = 98 \text{ m}^2$$

Diameter (d) = $\sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 98}{3,14}} = 11,3 \text{ m} \approx 12 \text{ m}$

Overflow rate

$$= \frac{Q}{A} = \frac{2350 \text{ m}^3/\text{hari}}{\frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 \text{ m}^2} = 18,7 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

memenuhi 15–40 m³/m².hari

Kontrol Solid Loading

$$\text{Solid Loading} = \frac{Q}{A} = \frac{98 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 4 \text{ kg/m}^3}{\frac{1}{4} \times \pi \times 84^2 \text{ m}^2} = 4,82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot \text{jam}$$

(memenuhi (3-6))

Kedalaman Secondary Clarifier

Zona Thickening

Total massa solid dari AT (Tms)

$$= X_{\text{MLSS}} \times \text{Volume AT}$$

$$= 3 \text{ kg/m}^3 \times 2350 \text{ m}^3$$

$$= 7050 \text{ kg}$$

Total massa solid di SC (Tmsc) = (% massa solid tertahan) x Tms

$$= (30) \times 7050 \text{ kg}$$

$$= 2256 \text{ kg}$$

Kedalaman Zona Thickening

$$= \frac{T_{\text{msc}}}{X_R \times A} = \frac{2256 \text{ kg}}{8,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 98 \text{ m}^2} = 2,7 \text{ m}$$

Kedalaman *clear water zone* direncanakan 1 m

Freeboard = 0,3 m

$$H_{\text{total}} = 2,7 + 0,3 + 1 = 4 \text{ m}$$

Sludge Storage Zone

P_{X TSS} = P_x bio total / (MLVSS/MLSS)

$$= 124,9/0,8$$

$$= 156,2 \text{ kg TSS / hari}$$

Total Massa Solid = P_{X TSS} + Tmsc

$$= 156,2 \text{ kg} + 2256 \text{ kg}$$

$$= 2412,2 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 Y &= 0,6 \text{ gr VSS/gr BOD} \\
 K_d &= 0,05 \text{ gr VSS/gr VSS.day} \\
 Y_{obs} &= \frac{Y}{1+K_d \cdot SRT} = \frac{0,6}{1+0,05 \times 4} = 0,3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_o &= 142 \text{ mg/l} \\
 S &= 0,84 \text{ mg/l}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total volatile solid (TVS)} &= Q \times \{ Y_{obs} \cdot (S_o - S) \} \\
 &= 2350 \text{ m}^3/\text{hari} \times \{ 0,3 \cdot (142 \text{ mg/l} - 0,84 \text{ mg/l}) \times 10^{-3} \} \\
 &= 217,5 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total massa solis (TSS)} &= \text{Total volatile solid (TVS)} / 0,8 \\
 &= 217,5 \text{ kg/hari} / 0,8 \\
 &= 271,8 \text{ kg/hari} \times 1 \text{ hari} \\
 &= 271,8 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total solid di SC} &= T_{msc'} + \text{Total massa lumpur (TSS)} \\
 &= 2256 \text{ kg} + 271,8 \text{ kg} = 2527,8 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Volume lumpur

Berat jenis lumpur → Kadar solid : Kadar air = 2 % : 98 %

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis lumpur} &= [\text{berat jenis SS} \times 2\%] + [\text{berat jenis air} \times 98\%] \\
 &= [2,650 \times 2\%] + [0,995 \times 98\%] \\
 &= 1,028
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat air} &= (98 \% / 2 \%) \times \text{berat solid terendapkan} \\
 &= (98 \% / 2 \%) \times 2527,8 \text{ kg/hari} \\
 &= 123862,2 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume lumpur} &= \frac{\text{berat solid}}{(\rho_{\text{air}} \times S_s \times \% \text{ solid})} = \frac{2527,8}{(995 \times 1,028 \times 2\%)} = 123,5 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$T_d = 5 \text{ jam}$$

$$\text{Volume ruang lumpur} = 123,5 \text{ m}^3/\text{hari} / (5/12 \text{ jam}) = 29,64 \text{ m}^3$$

$$\text{Diameter atas} = \text{Diameter awal} / 2$$

$$= 11 \text{ m} / 2 = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{Luas Atas} = 5,5^2 \times 3,14 \times 0,25 = 23,7 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter bawah} &= \text{Diameter atas} / 2 \\
 &= 5,5 \text{ m} / 2 = 2,75 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas Bawah} &= 2,75^2 \times 3,14 \times 0,25 = 5,93 \text{ m}^2 \\
 \text{Volume zona lumpur} &= (h / 3) \times [A_1 + A_2 + (A_1 A_2)^{1/2}] \\
 25,7 &= (h / 3) \times [23,7 \text{ m}^2 + 5,93 \text{ m}^2 + (23,7 \text{ m}^2 \times 5,93 \text{ m}^2)^{1/2}] \\
 h &= 0,8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kontrol waktu detensi

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tiap bak} &= A_s \times h \\
 &= 84 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m} \\
 &= 252 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Td tiap bak

$$= \frac{V}{Q} = \frac{252 \text{ m}^3}{0,027 \text{ m}^3/\text{s}} = 9333 \text{ detik} = 2,6 \text{ jam}$$

Waktu detensi memenuhi kriteria desain yakni 2-6 jam (**OK!**)

Pompa dan Pipa Lumpur ke Unit Tangki Aerasi

Pompa resirkulasi dan pompa lumpur direncanakan menggunakan pipa *suction* dan pipa *discharge*

Debit resirkulasi (Q) = 1410 m³/hari = 0,016 m³/detik

Vasumsi = 0,5 m/detik

A = Q x V = 0,016 m³/detik x 0,5 m/detik = 0,008 m²

A = $\frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$

D = 150 mm

Head statis = 3,9 m

L suction = 7 m

L discharge = 10 m

Mayor losses:

H_fsuction

$$\begin{aligned}
 H_f &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\
 &= \left(\frac{16}{0,00155 \times 120 \times 15^{2,63}} \right)^{1,85} \times 7 \\
 &= 0,05 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$H_{f\text{discharge}}$

$$\begin{aligned} H_f &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left(\frac{16}{0,00155 \times 120 \times 15^{2,63}} \right)^{1,85} \times 10 \\ &= 0,052 \text{ m} \end{aligned}$$

$H_{f\text{mayor losses}} = 0,05\text{m} + 0,052 \text{ m} = 0,1 \text{ m}$

Head total = 7 + 0,83 = 7,83 m

Daya pompa yang dibutuhkan dapat digunakan persamaan berikut:

Whp =

$$\frac{\gamma \times Q \times H}{75} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,02 \frac{\text{m}^3}{\text{detik}} \times 7,83}{75} = 2,0 \text{ hp} = 1,47 \text{ kW}$$

Pompa dan Pipa Lumpur ke Unit Thickener

Pompa lumpur menuju thickener direncanakan menggunakan pipa *suction* dan pipa *discharge*

Debit waste (Q_w) = 14,8 m³/hari

Lama pemompaan 30 menit

$Q_{\text{lumpur}} = 14,8 \text{ m}^3 / 30 \text{ menit} = 0,0082 \text{ m}^3/\text{dtk}$

Vasumsi = 0,5 m/detik

$A = Q / V = 0,0082 \text{ m}^3/\text{detik} / 0,5 \text{ m/detik} = 0,0164 \text{ m}^2$

$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$

D = 150 mm

Head statis = 3,9 m

L suction = 7 m

L discharge = 10 m

Mayor losses:

$H_{f\text{suction}}$

$$\begin{aligned} H_f &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left(\frac{16}{0,00155 \times 120 \times 15^{2,63}} \right)^{1,85} \times 7 \\ &= 0,05 \text{ m} \end{aligned}$$

$H_{f\text{discharge}}$

$$\begin{aligned} H_f &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left(\frac{16}{0,00155 \times 120 \times 15^{2,63}} \right)^{1,85} \times 10 \\ &= 0,052 \text{ m} \end{aligned}$$

$H_{f\text{mayor losses}} = 0,05\text{m} + 0,052 \text{ m} = 0,1 \text{ m}$

Head total = 7 + 0,83 = 7,83 m

Daya pompa yang dibutuhkan digunakan persamaan berikut:

Whp =

$$\frac{\gamma \times Q \times H}{75} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,02 \frac{\text{m}^3}{\text{detik}} \times 7,83}{75} = 2,0 \text{ hp} = 1,47 \text{ kW}$$

Zona Outlet

Direncanakan:

Pelimpah berupa v-notch di sekeliling clarifier, dengan lebar saluran 50 cm.

Perhitungan:

$$\begin{aligned} Q \text{ efluen} &= Q_{\text{in}} - Q_w \\ &= 2326,79 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang weir} = \pi \times D = 3,14 \times 11 \text{ m} = 34,54 \text{ m}$$

Digunakan v-notch 90° dengan jarak 30 cm antar puncak segitiga

Jumlah v-notch total =

$$\frac{\text{panjang weir total}}{\text{jarak antar V - notch}} = \frac{34,54 \text{ m}}{0,3 \text{ m}} = 115 \text{ buah}$$

Q tiap v-notch =

$$\frac{2326,79 \text{ m}^3/\text{hari}}{115} = 14,92 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} = 1,72 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$$

Kedalaman air =

$$\begin{aligned} \left(\frac{15Q}{8. C_d. \sqrt{2} x 9,81} \right)^{2/5} &= \left(\frac{15 \times 1,72 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}}{8.0,6. \sqrt{2} x 9,81} \right)^{2/5} = 0,02 \text{ m} \\ &= 2 \text{ cm} \end{aligned}$$

Cek Weir Loading = Q effluen / panjang weir
 = 1716,3 m³/hari / 34,54
 = 49,6 m³/m².hari
 (kriteria desain <124 m³/m².hari) **(OK!)**

Saluran Outlet

Saluran pengumpul direncanakan menggunakan pipa

Jumlah pipa 1 buah

Q pipa = Qweir = 0,026 m³/detik

Panjang pipa = 20 m

Kecepatan (v) pipa = 0,5 m/dt

Diameter pipa

$$A = Q / v$$

$$= 0,027 \text{ m}^3/\text{detik} : 0,5 \text{ m/dt} = 0,054 \text{ m}^2$$

$$D = \left(\frac{4A}{\pi} \right)^{1/2} = \left(\frac{4 \times 0,054}{3,14} \right)^{1/2} = 0,27 \text{ m} \approx 300 \text{ mm}$$

Headloss (Hf)

$$\begin{aligned} Hf &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left(\frac{0,027}{0,00155 \times 120 \times 30^{2,63}} \right)^{1,85} \times 20 \\ &= 0,1 \text{ m} \end{aligned}$$

Elevasi Muka Air

- Elevasi muka air Clarifier = + 3,6 m
- Elevasi muka air inlet unit selanjutnya = + 3,7 m

7.1.7 Penyisihan Total Coliform

Bakteri E.coli atau patogen adalah bakteri yang hidup dalam kondisi anaerob. Pemberian kondisi aerob pada tangki aerasi dapat menurunkan e.coli. Penelitian yang dilakukan Nurhasana dkk, (2011) menunjukkan penurunan e.coli dalam proses aerasi adalah 20 %. Penurunan e.coli dengan proses aerasi masih belum menurunkan e.coli hingga memenuhi baku. Proses penyisihan e.coli dilakukan dengan penambahan desinfektan berupa larutan kaporit. Penambahan dosis kaporit 10 mg/L dapat menurunkan bakteri hingga mencapai 1600 MPN/100mL. Dosis optimum

kaporit untuk proses desinfeksi e.coli adalah 10-50 mg/L (Komala dan Yanarosanti, 2014).

Direncanakan :

Desinfektan yang dipakai ini adalah Kaporit [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$]	
Kadar klor dalam kaporit	= 60%
Berat jenis kaporit	= 0,86 kg/L
Konsentrasi larutan, Cl	= 5%
Daya Optimum Klor	= 30 mg/L
Sisa Klor	= 0,3 mg/L
Dosis Klor	= DPC + Sisa Klor
	= 30 + 0,3 = 30,3 mg/L
Q air	= 0,054 m ³ /detik

Perhitungan Dimensi Unit:

Kebutuhan Kaporit	$= \frac{100}{60} \times \text{dosis klor} \times Q$ $= \frac{100}{60} \times 30,3 \text{ mg/L} \times 54 \text{ L/detik}$ $= 2727 \text{ mg/detik}$ $= 235,6 \text{ kg/hari}$
Volume kaporit	$= \frac{\text{Kebutuhan kaporit}}{\text{berat jenis kaporit}}$ $= \frac{235,6 \text{ kg/hari}}{0,86 \text{ kg/Lt}} = 274 \text{ L/hari}$
Volume pelarut	$= \frac{(100\% - 5\%)}{5\%} \times \text{Volume kaporit}$ $= \frac{(100\% - 5\%)}{5\%} \times 274 \text{ L/hari}$ $= 5206 \text{ L/hari}$
Volume larutan kaporit	$= \text{Vol. kaporit} + \text{Vol. pelarut}$ $= 274 \text{ L/hari} + 5206 \text{ L/hari}$ $= 5,5 \text{ m}^3/\text{hari}$

Dimensi bak desinfeksi sama besarnya dengan volume larutan kaporit, yaitu 5,5 m³. Pelarutan kaporit direncanakan setiap 12 jam sekali sehingga membutuhkan 2 bak desinfeksi. Masing-masing bak memiliki volume 2,25 m³. Bak direncanakan berbentuk tabung dengan diameter 1.5 m.

$$\begin{aligned} \text{Tinggi (h)} &= V/A \\ &= 2.25 / (0.25 \times 3.14 \times 1.5 \times 1.5) \\ &= 1,3 \text{ m} \\ \text{Freeboard} &= 0,3 \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan Debit Pembubuhan:

Pembubuhan dilakukan menggunakan *dosing pump*.

Debit = $2,25 \text{ m}^3/12 \text{ jam}$

= 53 mL/dtk

Karakteristik air limbah domestik setelah melewati unit Tangki Aerasi dapat lihat pada Tabel 7.5.

Tabel 7. 5 Karakteristik Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu
pH	-	6,95	6 – 9
TSS	mg/L	20	30
COD	mg/L	36,75	100
BOD	mg/L	0,82	30
N	mg/L	10	10
Minyak & lemak	mg/L	1,8	5
Total Coliform	MPN/100m	0	3000

7.1.8 Sludge Thickener

Sludge Thickener berfungsi untuk mengurangi kadar air dalam lumpur sebelum dimasukkan ke dalam *sludge drying bed* (SDB) sehingga meningkatkan kandungan padatan dalam lumpur. Kriteria dari *sludge thickener* dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 7. 6 Kriteria Desain Sludge Thickener Untuk Lumpur Campuran

No.	Parameter	Satuan	Range
1	Konsentrasi influen solid	%	0.5 - 2.0
2	Konsentrasi thickened solid	%	4.0 - 6.0
3	Hydraulic loading	$\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$	15,5-31*
4	Solid loading	$\text{Kg}/\text{m}^2.\text{d}$	40-80*
5	Penghilangan solid	%	85 - 92
6	Overflow, TSS	mg/L	300 - 800

Sumber : Metcalf and Eddy (2003)

- a. Perencanaan *sludge thickener*
 Jumlah bak = 2 buah
 Solid loading = $60 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari}$
 Konsentrasi thickened solid = 5 %
- b. Lumpur bak pengendap 1
 Berat solid = 401 kg/hari
 Berat air = 39619 kg/hari
 Volume lumpur = $39,6 \text{ m}^3/\text{hari}$
 Ss lumpur = 1,011
 Persentase solid = 1 %
- c. Lumpur dari bak pengendap 2
 Berat solid = $252,7 \text{ kg/hari}$
 Berat air = $14386,2 \text{ kg/hari}$
 Volume lumpur = $14,8 \text{ m}^3/\text{hari}$
 Ss lumpur = 1,028
 Persentase solid = 2 %
- d. Lumpur Campuran
 Ss lumpur di thickener (S)

$$= ((\text{Lumpur BP1} \times \text{Ss BP1}) + (\text{Lumpur BP2} \times \text{Ss BP2})) / (\text{BP1} + \text{BP2})$$

$$= ((39,6 \times 1,011) + (123,5 \times 1,028)) / (39,6 + 123,5)$$

$$= 1,018$$
 % Solid

$$= ((\text{Lumpur BP1} \times 1 \%) + (\text{Lumpur BP2} \times 2\%)) / (\text{BP1} + \text{BP2})$$

$$= ((39,6 \times 1\%) + (123,5 \times 2\%)) / (39,6 + 123,5)$$

$$= 1,75 \%$$
 Volume lumpur = $39,6 + 14,8 = 54,4 \text{ m}^3$
 Volume air = $98,25 \% \times 54,4 \text{ m}^3 = 53,4 \text{ m}^3$
 Volume solid = $1,75 \% \times 54,4 \text{ m}^3 = 1 \text{ m}^3$
- e. Thickened 5%
 Volume air keluar dari Thickener (x)

$$X = \left[\frac{98,25 \%}{1,75 \%} - \frac{95 \%}{5 \%} \right] \times 1 \text{ m}^3 = 37,1 \text{ m}^3$$

- f. Dimensi Thickener
- Luas permukaan (As) = Berat solid / solid loading
 $= (401 + 2527,8) / 60$
 $= 58,56 \text{ m}^2$
- Diameter thickener $= (4 \times \text{As} / 3,14)^{0.5}$
 $= (4 \times 58,56 / 3,14)^{0.5}$
 $= 8,6 \text{ m} \approx 9 \text{ m}$
- Kedalaman thickener $= V \text{ lumpur} / \text{As}$
 $= 163,1 \text{ m}^3 / 58,56 \text{ m}^2$
 $= 2,8 \text{ m}$
- g. Dimensi Ruang Lumpur
- Volume lumpur thickened
 $= \text{Lumpur masuk} - \text{Air keluar}$
 $= 54,4 \text{ m}^3 - 37,1 \text{ m}^3 = 17,3 \text{ m}^3$
- Diameter atas = Diameter awal / 2
 $= 9 \text{ m} / 2 = 4,5 \text{ m}$
- Luas Atas $= 4,5^2 \times 3,14 \times 0,25 = 16 \text{ m}^2$
- Diameter bawah = Diameter atas / 2
 $= 4,5 \text{ m} / 2 = 2,25 \text{ m}$
- Luas Bawah $= 2,25^2 \times 3,14 \times 0,25 = 4 \text{ m}^2$
- Volume zona lumpur $= (h / 3) \times [A_1 + A_2 + (A_1 A_2)^{1/2}]$
 $17,3 \text{ m}^3 = (h / 3) \times [16 \text{ m}^2 + 4 \text{ m}^2 + (16 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m}^2)^{1/2}]$
 $h = 1,2 \text{ m}$

Pompa dan Pipa Lumpur ke Unit Sludge Drying Bed

Pompa lumpur menuju SDB direncanakan menggunakan pipa *suction* dan pipa *discharge*

Debit = $17,3 \text{ m}^3/\text{hari}$

Lama pemompaan 60 menit

$Q_{\text{lumpur}} = 17,3 \text{ m}^3 / 60 \text{ menit} = 0,016 \text{ m}^3/\text{dtk}$

Vasumsi = $0,5 \text{ m}/\text{detik}$

$A = Q / V = 0,016 \text{ m}^3/\text{detik} / 0,5 \text{ m}/\text{detik} = 0,032 \text{ m}^2$

$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$

$D = 100 \text{ mm}$

Head statis = $3,9 \text{ m}$

L suction = 7 m

L discharge = 10 m

Mayor losses:

$H_{f\text{suction}}$

$$\begin{aligned} H_f &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left(\frac{16}{0,00155 \times 120 \times 10^{2,63}} \right)^{1,85} \times 7 \\ &= 0,05 \text{ m} \end{aligned}$$

$H_{f\text{discharge}}$

$$\begin{aligned} H_f &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left(\frac{16}{0,00155 \times 120 \times 10^{2,63}} \right)^{1,85} \times 10 \\ &= 0,052 \text{ m} \end{aligned}$$

$$H_{f\text{mayor losses}} = 0,05\text{m} + 0,052 \text{ m} = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Head total} = 7 + 0,83 = 7,83 \text{ m}$$

Daya pompa yang dibutuhkan dapat digunakan persamaan berikut:

$W_{hp} =$

$$\frac{\gamma \times Q \times H}{75} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,02 \frac{\text{m}^3}{\text{detik}} \times 7,83}{75} = 2,0 \text{ hp} = 1,47 \text{ kW}$$

Zona Outlet

Direncanakan:

Pelimpah berupa v-notch di sekeliling clarifier, dengan lebar saluran 50 cm.

Perhitungan:

$$Q \text{ effluen} = 106,7 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Panjang weir} = \pi \times D = 3,14 \times 9 \text{ m} = 28 \text{ m}$$

Digunakan v-notch 90° dengan jarak 30 cm antar puncak segitiga

Jumlah v-notch total =

$$\frac{\text{panjang weir total}}{\text{jarak antar V - notch}} = \frac{28 \text{ m}}{0,3 \text{ m}} = 98 \text{ buah}$$

Q tiap v-notch =

$$\frac{106,7 \text{ m}^3/\text{hari}}{98} = 14,92 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} = 1,72 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$$

Kedalaman air =

$$\left(\frac{15Q}{8.Cd.\sqrt{2x9,81}} \right)^{2/5} = \left(\frac{15 \times 1,72 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}}{8,0,6.\sqrt{2x9,81}} \right)^{2/5} = 0,02 \text{ m}$$
$$= 2 \text{ cm}$$

Cek Weir Loading = Q effluen / panjang weir
= 106,7 m³/hari / 28
= 46,2 m³/m².hari

(kriteria desain <124 m³/m².hari) (**OK!**)

Saluran Outlet

Saluran pengumpul direncanakan menggunakan pipa

Jumlah pipa 1 buah

Q pipa = Qweir = 0,026 m³/detik

Panjang pipa = 20 m

Kecepatan (v) pipa = 0,5 m/dt

Diameter pipa

A = Q / v

= 0,027 m³/detik : 0,5 m/dt = 0,054 m²

$$D = \left(\frac{4A}{\pi} \right)^{1/2} = \left(\frac{4 \times 0,054}{3,14} \right)^{1/2} = 0,27 \text{ m} \approx 300 \text{ mm}$$

Headloss (Hf)

$$Hf = \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L$$
$$= \left(\frac{0,027}{0,00155 \times 120 \times 30^{2,63}} \right)^{1,85} \times 20$$
$$= 0,1 \text{ m}$$

Elevasi Muka Air

- Elevasi muka air Clarifier = + 3,6 m

- Elevasi muka air inlet unit selanjutnya = + 3,7 m

7.1.9 Sludge Drying Bed

Pengeringan lumpur pada Sludge Drying Bed (SDB), terjadi akibat adanya proses perkolasi dan evaporasi. Air yang berkurang karena proses perkolasi adalah antara 20-55%, bergantung pada kandungan awal solids dalam lumpur dan karakteristik solidsnya. Perencanaan serta penggunaan sistem drying bed ini sangat bergantung pada kondisi iklim (hujan dan evaporasi). Lumpur basah yang akan dikeringkan, umumnya dituangkan di atas drying beds, dengan tebal 20-30 cm. Pengangkatan lumpur yang sudah kering ditentukan berdasarkan pengalaman dan sistem pembuangan yang ada.

Perencanaan

- Terdapat 2 SDB
- Volume lumpur masuk = $17,3 \text{ m}^3$
- Kadar solid akhir = 20%
- Kadar air akhir = 80%
- Waktu pengeringan 10 hari, pengisian 1 hari, pengurasan 1 hari
- Total bed pada SDB 12 buah

Media :

Lapisan pasir	<i>fine sand</i>	200 mm
	<i>coarse sand</i>	100 mm
Lapisan kerikil	<i>fine gravel</i>	75 mm
	<i>medium gravel</i>	75 mm
	<i>coarse gravel</i>	75 mm
Ketebalan total media	=	525 mm

Dimensi Tiap Bed

- Tebal (kedalaman) *cake sludge* = 0,3 m
- $$\begin{aligned} \text{Luas permukaan bed} &= \frac{\text{Volume lumpur tiap bed}}{\text{Tebal lapisan lumpur}} \\ &= \frac{17,3 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,3 \text{ m}} \\ &= 56,4 \text{ m}^2 \\ \text{Luas} &= P \times L \quad (P : L = 2 : 1) \\ 56,4 \text{ m}^2 &= 2L^2 \\ L &= 5,5 \text{ m} \\ P &= 5,5 \text{ m} \times 2 \\ &= 11 \text{ m} \end{aligned}$$

Jika direncanakan untuk ketinggian, *Freeboard* = 0,3 m, maka dapat dihitung ketinggian total.

$$\begin{aligned}\text{Ketinggian total} &= H \text{ lumpur} + H \text{ media} + \text{freeboard} \\ &= 0,3 \text{ m} + 0,6 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\ &= 1,2 \text{ m}\end{aligned}$$

Menghitung sistem *underdrain*

Direncanakan:

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan air } \textit{underdrain} &: 0,6 \text{ m/s} \\ \text{Volume lumpur masuk} &= 17,3 \text{ m}^3 \\ \text{Volume solid} &= 0,865 \text{ m}^3 \\ \text{Kadar solid} &= 5 \% \\ \text{Kadar air} &= 95 \%\end{aligned}$$

Volume air terbang *dan cake* tiap pengisian

$$\begin{aligned}\text{Kadar solid} &= 20 \% \\ \text{Kadar air} &= 80 \% \\ \text{Volume air keluar dari SDB (x)}\end{aligned}$$

$$X = \left[\frac{95 \%}{5 \%} - \frac{80 \%}{20 \%} \right] \times 0,865 \text{ m}^3 = 12,9 \text{ m}^3$$

Volume *cake*

$$\begin{aligned}&= \text{Lumpur masuk} - \text{Air keluar} \\ &= 17,3 \text{ m}^3 - 12,9 \text{ m}^3 = 4,4 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Berat *cake*

$$= \left[\frac{100 \%}{80 \%} \right] \times 4,4 \text{ m}^3 / 1000 \text{ m}^3/\text{kg} = 547 \text{ kg}$$

Underdrain

Berfungsi untuk menampung dan mengeluarkan air dari lumpur.

Terletak di bawah lapisan kerikil (media).

Kecepatan air dalam underdrain : 0,5 m/detik

$$A = \frac{(12,9/10\text{hari}) \text{ m}^3 / \text{hari} \times \frac{1\text{hari}}{3600\text{det}}}{0,5 \text{ m} / \text{det}} = 0,0004 \text{ m}$$

$$\text{Diameter} = \sqrt{\frac{4 \times 0,0004}{\pi}} = 0,005 \text{ m} = 50 \text{ mm} = 5 \text{ cm}$$

Digunakan ukuran pasar yaitu 10 cm

7.2 Perencanaan IPAL Tahu Asri

Pada pabrik tahu Asri sudah terdapat dua unit IPAL eksisting yang menggunakan jenis Anaerobik Filter (AF). Masing masing IPAL memiliki dimensi dan kapasitas olah yang berbeda. Unit AF 1 menerima air limbah dari 3 alat masak tahu yang berada di bagian bawah. Unit AF 2 menerima air limbah dari 4 alat masak tahu yang berada di bagian atas. Pabrik Tahu Asri direncanakan mengolah kedelai sebanyak 1600 kg. Sekali proses pemasakan kedelai membutuhkan 15 kg dan dihasilkan air limbah tahu sebanyak 233,4 L. Beban air limbah yang diterima masing-masing IPAL adalah sebagai berikut

Jumlah pemasakan = $1600 \text{ kg} / 15 \text{ kg} = 107$ pemasakan

Debit AF 1 = $3/7 \times 107 \text{ pemasakan} \times 233,4 \text{ L}$

= $10703 \text{ L/hari} = 10,7 \text{ m}^3/\text{hari}$

Debit AF 2 = $4/7 \times 107 \text{ pemasakan} \times 233,4 \text{ L}$

= $14270 \text{ L/hari} = 14,27 \text{ m}^3/\text{hari}$

Debit Total = $24,97 \text{ m}^3/\text{hari} = 25 \text{ m}^3/\text{hari}$

Karakteristik air limbah tahu dan efluen dari masing-masing IPAL disajikan pada tabel berikut

Tabel 7. 7 Karakteristik Air Limbah Tahu dan Outlet IPAL

Parameter	Satuan	Inlet	AF 1		AF 2	
			Outlet	%R	Outlet	%R
Suhu	°C	42,7	30,1	-	27,2	-
pH	-	4,57	7,13	-	7,24	-
TSS	mg/L	1135,4	413	64	322	72
COD	mg/L	6320,8	1641,3	74	1418,5	78
BOD	mg/L	3426,5	1021,8	70	972,6	72
N	mg/L	206,16	-	-	-	-
P	mg/L	85,4	54,9	36	35,4	59
Minyak & Lemak	mg/L	66	34	48	28	58
Total Coliform	MPN/100mL	22×10^8	16×10^8	27	17×10^8	22

Sumber: Hasil Analisa Laboratorium

Air Limbah Tahu Asri memiliki beban organik dan nutrien yang tinggi. Pengolahan air limbah tahu Asri menggunakan unit AF 1 dan AF 2 masih mengeluarkan efluen yang tinggi. Perencanaan skema baru untuk IPAL pabrik tahu Asri diperlukan agar efluen air limbah memenuhi baku mutu. IPAL pabrik tahu Asri direncanakan akan mengolah air limbah domestik yang berasal dari permukiman sekitar. Air limbah pabrik tahu akan bercampur dengan air limbah domestik dan dilakukan pengolahan satu sistem pengolahan IPAL. Debit air limbah yang masuk ke dalam IPALD adalah

$$\begin{aligned} Q_r &= 120,3 \text{ L/orang.hari} \times 264 \text{ jiwa} \\ &= 56,12 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,0065 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

7.2.1 Analisis Kinerja IPAL Eksisting

a. Kapasitas Pengolahan dan Waktu Detensi

AF 1

Debit rata-rata (Q)	= 10,7 m ³ /hari
Panjang	= 4 m
Lebar	= 4 m
Tinggi	= 2 m
Waktu detensi	= Volume eksisting/ Q
	= 32 m ³ / 10,7 m ³ /hari
	= 3 hari

AF 2

Debit rata-rata (Q)	= 14,27 m ³ /hari
Panjang	= 4 m
Lebar	= 4 m
Tinggi	= 5,3 m
Waktu detensi	= Volume eksisting/ Q
	= 84,8 m ³ / 14,27 m ³ /hari
	= 6 hari

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat disimpulkan bahwa unit AF 1 masih memenuhi waktu detensi untuk AF yaitu 0,5 – 3 hari. Ukuran unit AF 2 terlalu besar sehingga waktu detensi air limbah terlalu lama. Perencanaan ini akan menambahkan air limbah domestik ke dalam pengolahan. Maka perlu untuk dilakukan pengecekan terhadap kemampuan olah IPAL dengan penambahan air limbah domestik.

$$\begin{aligned} Q_{\text{total pengolahan}} &= Q_{\text{limbah tahu}} + Q_{\text{air limbah domestik}} \\ &= 25 \text{ m}^3/\text{hari} + 56,12 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 81,12 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu detensi AF 1} &= \text{Volume eksisting} / Q \\ &= 32 \text{ m}^3 / 81,12 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,4 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu detensi AF 2} &= \text{Volume eksisting} / Q \\ &= 84,8 \text{ m}^3 / 81,12 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 1,05 \text{ hari} \end{aligned}$$

Unit AF 1 tidak memenuhi waktu detensi untuk AF yaitu 0,5 – 3 hari ketika ditambah air limbah domestik. Unit AF 2 masih memenuhi kriteria waktu detensi AF yaitu 1,05 hari. Perencanaan skema pengolahan IPAL baru akan menyertakan unit AF 1 dalam pengolahan. Unit AF 1 tidak digunakan karena ukurannya tidak mampu mengolah gabungan air limbah domestik dan tahu. Letak unit AF 1 yang jauh dari tempat yang direncanakan sebagai lokasi skema IPAL baru juga menjadi alasan unit AF 2 tidak digunakan.

b. Organik Loading Rate (OLR)

Nilai OLR menunjukan massa organik dalam setiap m^3 air limbah yang akan diolah oleh mikroorganisme di dalam unit AF.

COD influen $[S_o] = 6320,8 \text{ mg/l}$

OLR AF 1

$$\begin{aligned} OLR &= \frac{Q \times S_o}{V} \\ OLR &= \frac{10,7 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 6,32 \text{ kg/m}^3}{32 \text{ m}^3} = 1,14 \text{ kg/m}^3 \text{ hari} \end{aligned}$$

OLR AF 2

$$\begin{aligned} OLR &= \frac{Q \times S_o}{V} \\ OLR &= \frac{14,27 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 6,32 \text{ kg/m}^3}{84,8 \text{ m}^3} = 1,06 \text{ kg/m}^3 \text{ hari} \end{aligned}$$

OLR masih memenuhi kriteria desain yaitu $< 5 \text{ kg COD/m}^3 \text{ hari}$.

c. Hydraulic Loading Rate (HLR)

HLR memberikan kecepatan aliran air limbah untuk keluar dari reaktor. Perhitungan HLR membutuhkan data berupa debit dan luas dari reaktor.

Diketahui:

$$\text{Luas (Ac) AF2} = 4 \times 1,3 = 5,2 \text{ m}^2$$

- HLR AF 2 tanpa air limbah domestik

$$HLR = \frac{Q}{A}$$

$$HLR = \frac{25 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}}{5,2 \text{ m}^2 \times 24 \text{ jam}} = 0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ jam}$$

HLR memenuhi kriteria desain yaitu $< 1,7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ jam}$.

- HLR AF 2 dengan air limbah domestik

$$HLR = \frac{Q}{A}$$

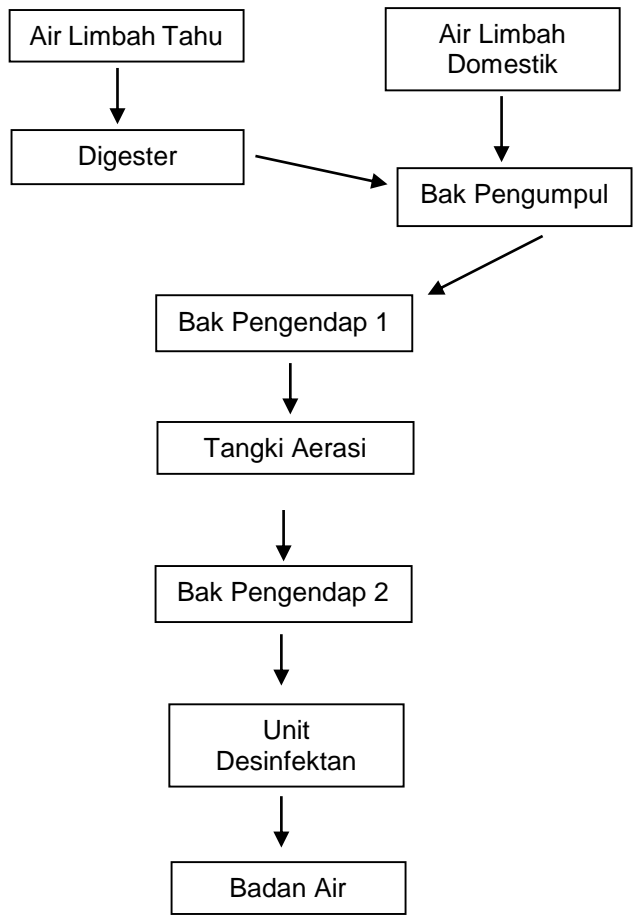
$$HLR = \frac{81,12 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}}{5,2 \text{ m}^2 \times 24 \text{ jam}} = 0,65 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ jam}$$

HLR memenuhi kriteria desain yaitu $< 1,7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ jam}$.

7.2.2 Skema Pengolahan IPAL Pabrik Tahu Asri

Air limbah pabrik tahu Asri memiliki konsentrasi yang tinggi baik beban organik maupun nutriennya. Pengolahan air limbah menggunakan IPAL eksisting masih menyisahkan efluen beban organik di atas 1000 mg/L. Beban organik yang tinggi membutuhkan pengolahan anaerobik tambahan sebelum dilakukan pengolahan secara aerobik. Kandungan nutrisi yang tinggi juga membutuhkan pengolahan aerobik-anoksik untuk proses degradasi nutrisi. Pada perencanaan IPAL ini akan memanfaatkan biogas hasil pengolahan anaerobik untuk disalurkan kepada masyarakat sekitar. Penyaluran biogas membutuhkan perencanaan *gas holder* untuk menampung biogas yang dihasilkan. Pipa inlet unit AF 2 letaknya berada di atas saluran pembuangan dari 5 alat masak tahu. Perlu perencanaan unit anaerobik baru yang elevasi pipa inlet berada di bawah semua saluran pembuangan alat masak tahu. Penggunaan 2 buah unit anaerobik secara berurutan akan meningkatkan kadar amonia

dalam air limbah. Oleh karena itu, unit Anaerobik Filter 2 akan ditambahkan blower sehingga menjadi proses aerobik. Unit Anaerobik Filter direncanakan ulang menjadi Tangki Aerasi. Adapun skema dari pengembangan pengelolaan limbah air limbah tahu Asri dan air limbah domestik dapat dilihat pada Gambar 7..



Gambar 7. 4 Skema Pengolahan IPAL Pabrik Tahu Asri

7.2.3 Reaktor Biogas

Penggunaan reaktor biogas dalam pabrik tahu Asri dilakukan pertama kali agar beban organik yang dikonversikan menjadi biogas lebih banyak. Berdasarkan sub bab 5.2.1 SRT reaktor biogas adalah 5 hari karena suhu air limbah tahu mencapai 42 ° C. Reaktor biogas direncanakan berbentuk digester tipe floating drum untuk menampung biogas. Perencanaan yang dilakukan sesuai sub bab 5.2.1 yaitu

$$Q_{\text{desain}} = 25 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{BOD}_{\text{in}} = 3426,5 \text{ mg/l}$$

$$\text{HRT} = \text{SRT} = 5 \text{ hari}$$

$$\% \text{ Removal BOD} = 75\%$$

$$\text{Produksi lumpur (P}_x\text{)} = 0,66 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Produksi CH}_4 = 38 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Produksi biogas} = 38 \text{ m}^3/\text{hari} / 65\% = 58,46 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Perhitungan Anaerobik Digester:

Kapasitas digester:

Dengan menggunakan Q limbah tahu dan periode digester:

$$\text{Volume} = Q \times \text{SRT} = 25 \text{ m}^3/\text{hari} \times 5 \text{ hari} = 125 \text{ m}^3$$

Dimensi dan geometri digester

Kedalaman = sludge blanket + ruang lumpur

$$= 3 \text{ m} + 1 \text{ m} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Luas permukaan} = \frac{125 \text{ m}^3}{4 \text{ m}} = 31,26 \text{ m}^2$$

$$\text{Diameter tiap} = \sqrt{\left(\frac{4 \times 31,26 \text{ m}^2}{\pi}\right)} = 6,2 \text{ m}$$

Perhitungan Lumpur Digester

$$\text{Lumpur terproduksi} = 88 \text{ kg/hari}$$

$$\% \text{ solid asumsi} = 1,5 \%$$

$$S_s = 1,107$$

$$\frac{W_{\text{sludge}}}{(S_{\text{sludge}})} = \frac{W_{\text{solid}}}{S_s} + \frac{W_{\text{air}}}{S_{\text{air}}}$$

$$\frac{1}{(S_{\text{sludge}}')} = \frac{0,015}{1,107} + \frac{0,985}{1}$$

$$S_{\text{sludge}}' = 1,001$$

$$Q_{\text{lumpur}} = \frac{P_x}{S_{\text{sludge}}' \times \% \text{solid} \times \text{pair}}$$

$$= \frac{0,66}{1,001 \times 1,5\% \times 1000} = 0,044 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Waktu Pengurasan Lumpur = $V \text{ ruang lumpur} / \text{produksi lumpur}$

$$= (3,14 \times \frac{1}{4} \times 6,3^2 \times 1) / 0,044 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 708 \text{ hari}$$

Pengurasan dilakukan setiap 708 hari atau 2 tahun sekali.

Perencanaan Utilitas Digester

- Pipa inlet digester dibuat 300 mm agar mudah dilakukan penyedotan lumpur saat pengurasan.
- Pipa outlet digester direncanakan berdiameter 300 mm dengan arah aliran ke bawah. Pada bagian bawah terdapat bak kontrol untuk menampung endapan yang terbawa keluar.
- Direncanakan bak floating berisi air mengelilingi digester dengan jarak 80 cm dan kedalaman 2,5 m.
- Bagian tutup digester terbuat dari *fiberglass* sebagai *gas holder* yang berfungsi untuk menampung biogas hasil pengolahan. *Gas holder* berbentuk tabung dengan atap berbentuk seperlima bola. Diameter gas holder direncanakan 6,6 m dengan tinggi tabung 3,5 m dan tinggi bagian bola 1/5 diameter.

Elevasi Muka Air

- Elevasi muka air Inlet Digester = + 38,01 m
- Pipa outlet diletakkan 10 cm dibawah muka air inlet
- Elevasi muka air inlet unit selanjutnya = + 37,91 m

Karakteristik efluen digester

Digester yang direncanakan memiliki sistem proses pengolahan dan waktu detensi hampir sama dengan unit AF 2. Persen removal beban pencemar disamakan dengan %R yang terjadi di unit AF 2. Hasil efluen dari proses pengolahan digester direncanakan sebagai berikut

Tabel 7. 8 Karakteristik Efluen Rencana Digester

Parameter	Satuan	Inlet	AF 2	
			Outlet	%R
Suhu	°C	42,7	27,2	-
pH	-	4,57	7,24	-
TSS	mg/L	1135,4	322	72
COD	mg/L	6320,8	1418,5	78
BOD	mg/L	3426,5	972,6	72
N	mg/L	206,16	206,16	-
P	mg/L	85,4	35,4	59
Minyak & Lemak	mg/L	66	28	58
Total Coliform	MPN/100mL	22×10^8	17×10^8	22

Sumber: Hasil Perhitungan

7.2.4 Bak Pengumpul

Bak pengumpul akan menampung sementara efluen dari unit digester dan air limbah domestik. Pada bak pengumpul terjadi pencampuran air limbah tahu dari pengolahan digester dengan air limbah domestik permukiman warga sekitar. Hasil konsentrasi pencampuran menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut

$$[M] \text{ campuran} = \frac{[\text{limbah 1}] \times Q_{\text{limbah 1}} + [\text{limbah 2}] \times Q_{\text{limbah 2}}}{Q_{\text{limbah 1}} + Q_{\text{limbah 2}}}$$

Hasil konsentrasi pencampuran limbah dapat dilihat pada Tabel 7.9 berikut.

Tabel 7. 9 Konsentrasi Campuran Air Limbah

Parameter	Satuan	Outlet Digester	Air Limbah Domestik	Campuran
pH	-	7,24	6,95	7,04
TSS	mg/L	322	272	287,41
COD	mg/L	1418,5	376	697,28
BOD	mg/L	972,6	218	450,56
N	mg/L	206,16	47,75	96,57
P	mg/L	35,4	4,13	13,77
Minyak & Lemak	mg/L	28	18	21,08
Total Coliform	MPN/ 100mL	17×10^8	17×10^8	17×10^8

Sumber: Hasil Perhitungan

Bak Pengumpul memiliki fungsi sebagai bak penampung sementara dan menstabilkan debit air limbah sebelum dipompa menuju bangunan selanjutnya

Direncanakan :

- Berbentuk persegi
- Jumlah bangunan 1 buah
- $Q_r = 1 \text{ L/s} = 0,001 \text{ m}^3/\text{detik}$

Debit rata-rata yang didapatkan yakni $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$, diubah kedalam satuan volume dengan cara berikut ini :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= Q \times 1 \text{ jam} \times 3600 \text{ detik/jam} \\
 &= 0,001 \text{ m}^3/\text{s} \times 1 \text{ jam} \times 3600 \text{ detik/jam} \\
 &= 3,6 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Kemudian debit untuk setiap waktunya, diubah kedalam satuan volume dengan mengalikan debit dan waktu. Jumlah kumulasi paling banyak pada jam sekian adalah volume bak ekualisasi. Berikut adalah tabel mengenai perhitungan volume setiap debit dan kapasitas penyimpanannya.

Waktu (Jam)	Debit (m ³ /detik)	Vmasuk (m ³)	V Keluar (m ³)	Sisa (m ³)	Jumlah (m ³)
1	0,0000	0	3,6	-3,6	-3,6
2	0,0000	0	3,6	-3,6	-7,2
3	0,0001	0,5	3,6	-3,1	-10,3
4	0,0003	1	3,6	-2,6	-12,9
5	0,0014	5	3,6	1,4	-11,5
6	0,0014	5	3,6	1,4	-10,1
7	0,0008	3	3,6	-0,6	-10,7
8	0,0006	2	3,6	-1,6	-12,3
9	0,0014	5	3,6	1,4	-10,9
10	0,0014	5	3,6	1,4	-9,5
11	0,0014	5	3,6	1,4	-8,1
12	0,0019	7	3,6	3,4	-4,7
13	0,0017	6	3,6	2,4	-2,3
14	0,0014	5	3,6	1,4	-0,9
15	0,0019	7	3,6	3,4	2,5
16	0,0017	6	3,6	2,4	4,9
17	0,0022	8	3,6	4,4	9,3
18	0,0019	7	3,6	3,4	12,7
19	0,0014	5	3,6	1,4	14,1
20	0,0006	2	3,6	-1,6	12,5
21	0,0003	1	3,6	-2,6	9,9
22	0,0001	0,5	3,6	-3,1	6,8
23	0,0001	0,4	3,6	-3,2	3,6
24	0,0000	0	3,6	-3,6	0

Berdasarkan data diatas, maka didapatkan volume bak ekualisasi adalah penjumlahan kumulatif sisa terkecil dengan terbesar.

Direncanakan:

$V_{\text{bak}} = 12,9 \text{ m}^3 + 14,1 \text{ m}^3 = 27 \text{ m}^3$, dengan rincian dimensi:

H direncanakan = 3 m

$$A_{\text{surface}} \text{ Sumur pengumpul} = \frac{\text{Volume sumur}}{\text{Kedalaman sumur}} = \frac{27 \text{ m}^3}{3 \text{ m}}$$

$$= 9 \text{ m}^2$$

$$P=L=\sqrt{9} = 3 \text{ m}$$

Freeboard dari pipa inlet = 0,3 m

Direncanakan:

- Dasar bak ekualisasi direncanakan miring dengan kemiringan 5 % menuju sumur pompa.
- Kedalaman pipa terakhir (Hsew) = 1,17 m (elevasi + 37,84 m)
- Diameter pipa sewer = 100 mm = 0,1 m
- *Freeboard* dari pipa inlet direncanakan 0,3 m
- Elevasi muka air + 37,54 m
- Kedalaman total bak ekualisasi = 3m + 1,17m + 0,3m = 4,47 m

Pemompaan

$Q_{\text{hmax}} = 0,001 \text{ m}^3/\text{detik}$

Jumlah Pompa 2 buah, sebagai cadangan 1

$V_{\text{pompa}} = 1 \text{ m}^3/\text{detik}$

D ditentukan 100 mm

Headloss Pompa

H statis direncanakan = 7,5 m (elevasi + 5,4 m)

L distribusi direncanakan = 12 m

$$\begin{aligned} H_f &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left(\frac{0,001}{0,00155 \times 120 \times 10} \right)^{1,85} \times 12 \\ &= 1,36 \times 10^{-12} \text{ m (diabaikan karena terlalu kecil)} \end{aligned}$$

Debit yang kecil juga menyebabkan pencarian pompa dengan grafik sulit dilakukan. Pempompaan direncanakan dengan debit pemompaan 60 L / menit dengan ketinggian menuju unit Aerobik Filter adalah 3,5 m. Pompa yang sesuai dengan kondisi tersebut adalah Grundfos S1.30 .A4 0.134 .4.50H .

Spesifikasi Pompa:

$Q_{\max} = 70 \text{ L/menit}$

$H_{\max} = 4 \text{ m}$

Power = 1200 watt

$D_{\text{pipa}} = 7,6 \text{ cm}$

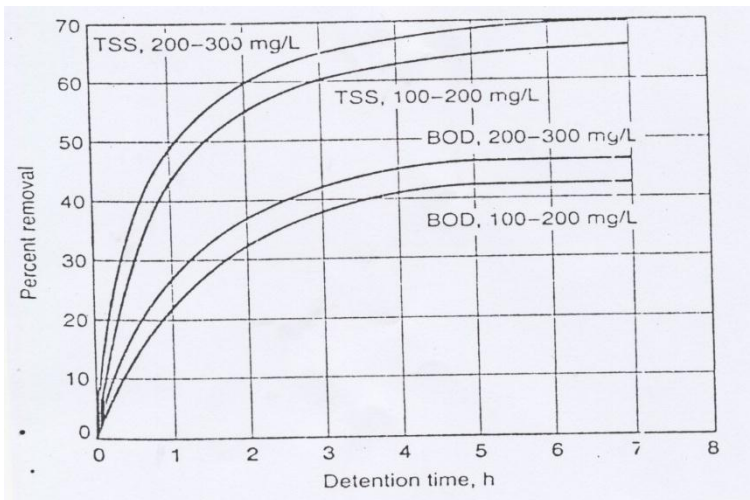
7.2.5 Bak Pengendap 1

Pada unit AF 2 yang diubah menjadi sistem aerobik biofilter terdapat bak pengendapan dengan ukuran 4m x 4m x 4m. Debit air limbah yang masuk ke dalam bak pengendap adalah 81,12 m³/hari atau debit pemompaan dari bak pengumpul 1 L/s. Perhitungan pengendapan pada bak pengendap adalah sebagai berikut

Volume bak = 4 m x 4 m x 3,7 m (dikurangi freeboard 30 cm)
= 59,2 m³

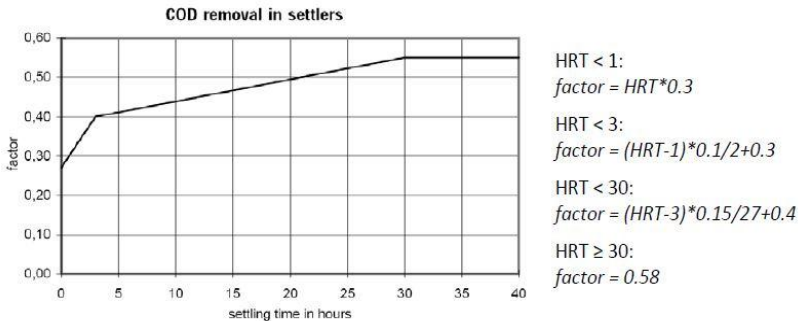
Waktu detensi = Volume bak / Q
= 59,2 m³ / 81,12 m³/hari
= 0,73 hari = 17,5 jam

Waktu t_d yang didapat kemudian diplotkan pada grafik persen removal BOD dan TSS pada bak pengendap



Gambar 7. 5 Grafik Percent Removal BOD dan TSS

Berdasarkan grafik di atas %R BOD dan TSS maksimal adalah 47% BOD dan 70% TSS. Selanjutnya dicari persen removal COD menggunakan grafik hubungan COD dengan td.



Gambar 7. 6 Grafik Percent Removal COD in settlers

%removal COD di dalam bak pengendap berdasarkan td 17,5 jam adalah

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Removal COD} &= (HRT - 3) \times 0,15/27 + 0,4 \\
 &= (17,5-3) \times 0,15/27 + 0,4 \\
 &= 0,473 \\
 &= 47,3 \%
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dihitung besar penurunan parameter pada bak pengendap dengan waktu detensi 17,5, perhitungan removal sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 TSS_{ef} &= TSS_{in} \times (100\%-70\%) \\
 &= 287,41 \text{ mg/L} \times (100\%-70\%) \\
 &= 86,22 \text{ mg/L} \\
 COD_{ef} &= COD_{in} \times (100\%-70\%) \\
 &= 697,28 \text{ mg/L} \times (100\%-47,3\%) \\
 &= 367,46 \text{ mg/L} \\
 BOD_{ef} &= BOD_{in} \times (100\%-70\%) \\
 &= 450,6 \text{ mg/L} \times (100\%-47 \%) \\
 &= 238,8 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Bak pengendapa memiliki desain yang sama dengan grease trap untuk mengapungkan minyak dan lemak. Waktu td pada grease trap adalah > 10 menit dan bak pengendap jauh di atas itu.

Persen pengolahan minyak lemak pada *grease trap* sebesar 85-95%. Berikut merupakan perhitungan konsentrasi effluen air limbah.

Konsentrasi minyak lemak awal = 21,8 mg/L,

Persen pengolahan = 90 %

Konsentrasi minyak lemak outlet

= $(100 - 90) \% \times 21,8 \text{ mg/L}$

= 2,18 mg/L

Kualitas effluen unit Bak Pengendap adalah sebagai berikut

Tabel 7. 10 Karakteristik Effluen AF 2

Parameter	Satuan	Inlet	Bak Pengendap	
			%R	Efluen
pH	-	7,04	-	-
TSS	mg/L	287,41	70	31
COD	mg/L	697,28	47,3	367,46
BOD	mg/L	450,56	47	238,8
N	mg/L	96,57	-	96,57
P	mg/L	13,77	-	13,77
Minyak & Lemak	mg/L	21,08	90	2,18
Total Coliform	MPN/100mL	17×10^8	-	17×10^8

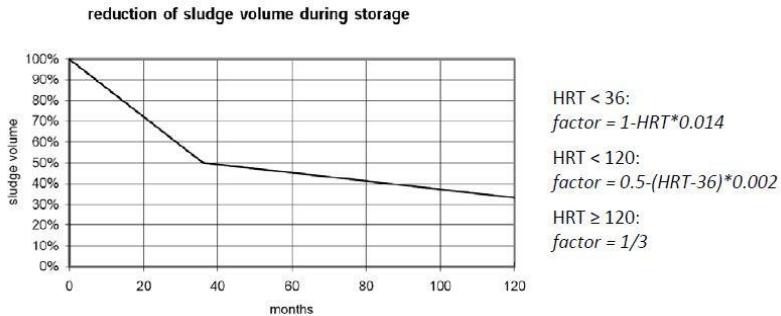
Sumber: Hasil Perhitungan

Durasi Pengurasan

Durasi pengurasan akan dilakukan setiap 2 - 3 tahun sekali menurut anjuran dinas PU Cipta Karya sebagai bentuk operasi dan perawatan IPAL komunal. Produksi lumpur TSS pada bak pengendap yang akan dikuras setiap 2 tahun sekali, dapat dihitung sebagai berikut :

Produksi Lumpur = Lumpur TSS x Durasi Pengurasan
 = $70\% \times 287,41 \text{ mg/L} \times 2 \text{ tahun}$
 = kg/hari x 2 tahun x 365 hari
 = 11.914 kg/2 tahun

Stabilisasi lumpur adalah proses sampai lumpur stabil. Dimana Stabilisasi lumpur bertujuan untuk menghindari terjadinya pembusukan lumpur, mencegah bau yang mengganggu, serta untuk mengurangi konsentrasi materi volatil dan kandungan patogen di dalam lumpur.



Gambar 7. 7 Grafik Reduction of Sludge Volume During Storage

Berdasarkan grafik dengan HRT 2 tahun, maka diperoleh Faktor untuk HRT < 36

$$\begin{aligned} \% \text{ stabilisasi} &= 1 - 24 \times 0,014 \\ &= 0,664 \\ &= 66,4 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Stabilisasi lumpur 2 tahun} &= 66,4 \% \times \text{produksi lumpur} \\ &= 66,4 \% \times 11914 \text{ Kg/tahun} \\ &= 7910 \text{ Kg/tahun} \end{aligned}$$

Untuk menentukan besar volume lumpur yang terbentuk massa lumpur yang telah diketahui sebelumnya perlu konversi dengan densitas lumpur sehingga didapatkan volume lumpur. Berikut perhitungan volume lumpur yang terbentuk,
Ditetapkan : thickening 5% ; masa jenis padat = 2,65 kg/l ; masa jenis air = 1 kg/l

$$\begin{aligned}\text{Densitas Lumpur} &= \frac{(5\% \times \rho_{\text{solid}}) - (95\% \times \rho_{\text{air}})}{100\%} \\ &= \frac{(5\% \times 2,65) - (95\% \times 1)}{100\%} \\ &= 1,0825 \text{ kg/l}\end{aligned}$$

Dari data yang telah dicari sebelumnya dapat dihitung besar volume lumpur diperuntukan perhitungan dimensi kompartemen 1. Berikut perhitungan volume lumpur yang terbentuk selama 2 tahun.

$$\begin{aligned}\text{Volume Lumpur} &= \frac{\text{Stabilisasi lumpur}}{\rho_{\text{lumpur}}} \\ &= \frac{7.910}{1,0825} = 7.318,8 \text{ l}/_2 \text{ tahun} = 7,32 \text{ m}^3/_2 \text{ tahun}\end{aligned}$$

7.2.6 Tangki Aerasi

Bangunan Anaerobik Filter 2 Eksisting direncanakan ulang menjadi unit Tangki Aerasi. AF 2 memiliki dimensi P x L x H adalah 4 m x 4 m x 6 m. Media filter yang digunakan adalah jaring-jaring benang. Unit AF 2 memiliki jumlah kompartemen sebanyak 3 dengan lebar masing-masing 1,3 m. Pengecekan Waktu Detensi, OLR dan HLR pada bangunan perlu dilakukan karena sistem IPAL berganti menjadi Aerobik.

Direncanakan

Terdapat 1 unit Tangki Aerasi

$Q_{\text{rata tangki}}$	= 81,12 m ³ /hari
Waktu tinggal lumpur (SRT)	= 1 – 30 hari
Rasio F/M	= 0,1 – 0,6
Waktu detensi (td)	= 3 – 8 jam
MLSS	= 2500 – 4000 mg/l
Rasio resirkulasi (R/Q)	= 0,25 – 1,5
Efisiensi <i>Removal</i> BOD	= 85 – 99%
BOD in	= 238,8 mg/L = 0,2388 kg/m ³
TKN	= 96,57 mg/l = 0,0966 kg/m ³
Total P	= 13,77 mg/l = 0,0138 kg/m ³

Tangki aerasi dengan proses nitrifikasi, konstanta kinetik yang digunakan berdasarkan Metcalf, 2014 adalah:

$$\begin{aligned}\mu_{mn} &= 0,9 - 1 \text{ g VSS/g VSS.hari} \\ k_n &= 0,5 \text{ g NH}_4\text{-N/m}^3 \\ Y_n &= 0,10 - 0,15 \text{ g VSS/g NH}_4\text{-N} \\ k_{dn} &= 0,17 \text{ g VSS/g VSS.hari} \\ K_D &= 0,4 - 0,6 \text{ g/m}^3\end{aligned}$$

Perhitungan Tangki Aerasi dengan Nitrifikasi

- Perhitungan laju pertumbuhan spesifik mikroorganisme

$$\begin{aligned}\text{Asumsi Suhu air} &= 20^\circ\text{C} \\ \mu_{mn} &= 0,9 \text{ g VSS/g VSS.hari} \\ k_n &= 0,5 \text{ g NH}_4\text{-N/m}^3 \\ Y_n &= 0,15 \text{ g VSS/g NH}_4\text{-N} \\ k_{dn} &= 0,17 \text{ g VSS/g VSS.hari} \\ K_D &= 0,5 \\ \text{Rasio MLVSS/MLSS} &= 0,8 \\ \text{Asumsi NH}_4\text{-N sisa (N}_e\text{)} &= 10 \text{ mg/L} \\ \text{O}_2 \text{ terlarut (DO)} &= 2 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_n &= \left(\frac{\mu_{mn} \times N_e}{K_n + N_e} \right) \times \left(\frac{DO}{K_D + DO} \right) - k_{dn} \\ &= \left(\frac{0,9 \times 10}{0,5 + 10} \right) \times \left(\frac{2}{0,5 + 2} \right) - 0,17 \\ &= 0,4 \text{ g/g.hari}\end{aligned}$$

- Perhitungan SRT Teoritis

$$\begin{aligned}\text{SRT teoritis} &= \frac{1}{\mu_n} \\ &= \frac{1}{0,4} = 2,5 \text{ hari} \\ \text{SRT desain} &= \text{faktor keamanan} \times \text{SRT teoritis} \\ &= 1,5 \times 2,5 = 3,75 \text{ hari} \approx 4 \text{ hari}\end{aligned}$$

- Perhitungan S_e (bCOD effluen)

$$\begin{aligned}k_d &= 0,088 \text{ g VSS/g VSS.hari} \\ \mu_m &= 3,5 \text{ g VSS/g VSS.hari} \\ k_s &= 8 \text{ g bCOD/m}^3 \\ S_e &= \frac{k_s \times (1 + (k_d \times SRT))}{(SRT \times (\mu_m - k_d)) - 1} \\ &= \frac{8 \times (1 + (0,088 \times 4))}{(4 \times (3,5 - 0,088)) - 1} = 1,31 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$bCOD = 1,6 \times BOD$$

$$BOD = \frac{bCOD}{1,6} = \frac{1,31}{1,6} = 0,82 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ Removal BOD} = \frac{(238,8 - 0,82)}{238,8} \times 100\% = 99,6\%$$

$$\% \text{ Removal COD} = 85-90\% \text{ (Permen PUPR, 2017)}$$

$$COD_{ef} = 367,46 \text{ mg/L} \times (100\% - 85\%) = 55,2 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ Removal TSS} = 80-90\% \text{ (Permen PUPR, 2017)}$$

$$TSS_{ef} = 31 \text{ mg/L} \times (100\% - 80\%) = 6,2 \text{ mg/L}$$

- Perhitungan Produksi Biomassa

$$Q_h = 81,120 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$k_d = 0,12 \text{ g VSS/g VSS.hari}$$

$$f_d = 0,15$$

$$\text{Asumsi } bCOD = 1,6 \times BOD$$

$$\text{Asumsi } NO_x = 80\% \text{ TKN}$$

$$= 80\% \times 96,57 \text{ mg/L} = 77,3 \text{ mg/L}$$

$$P_{x \text{ total}} = \frac{Q \times Y \times (S_0 - S_e)}{1 + (K_d \times SRT)} + \frac{f_d \times k_d \times Q \times (S_0 - S_e) \times SRT}{1 + (k_d \times SRT)} + \frac{Q \times Y_n \times NO_x}{1 + (k_{dn} \times SRT)}$$

$$= \frac{81,12 \times 0,4 \times (238,8 - 0,82)}{1 + (0,12 \times 4)} + \frac{0,15 \times 0,12 \times 81,12 \times (238,8 - 0,82) \times 4}{1 + (0,12 \times 4)} + \frac{81,12 \times 0,12 \times 77,3}{1 + (0,08 \times 4)}$$

$$= 4311,5 \text{ g/hari} = 4,3 \text{ kg/hari}$$

- Perhitungan Nutrien

$$N_{\text{sel building}} = \frac{12\% \times P_x}{Q} = \frac{12\% \times 4,3}{81,12} = 0,0064 \text{ kg/m}^3 = 6,36 \text{ mg/L}$$

$$N_{\text{influen}} = \text{TKN} = 96,57 \text{ mg/L}$$

$$N_{\text{effluen}} (N_e) = 10 \text{ mg/L}$$

$$\text{Nitrogen Teroksidasi } (NO_x)$$

$$= N_{\text{influen}} - N_e - N_{\text{sel building}}$$

$$= 96,57 - 10 - 6,36 = 80,21 \text{ mg/L}$$

$$P_{\text{sel building}} = \frac{6,6\% \times P_x}{Q} = \frac{6,6\% \times 4,3}{81,12} = 0,0035 \text{ kg/m}^3 = 3,5 \text{ mg/L}$$

$$P_{\text{influen}} = 4,13 \text{ mg/L}$$

$$P_{\text{efluen}} = P_{\text{influen}} - P_{\text{sel building}}$$

$$= 13,77 - 3,5 = 10,27 \text{ mg/L}$$

Karakteristik air limbah domestik setelah melewati unit Tangki Aerasi dapat lihat pada Tabel 7.10.

Tabel 7. 11 Karakteristik Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu
pH	-	6,95	6 – 9
TSS	mg/L	6,2	30
COD	mg/L	55,2	100
BOD	mg/L	0,82	30
N	mg/L	10	10
Minyak & lemak	mg/L	2,18	5
Total Coliform	MPN/100m	17×10^8	3000

- Perhitungan Volume Tangki Aerasi

$$\text{MLSS reaktor} = 3000 \text{ mg/L}$$

$$\text{MLVSS (X)} = 80\% \times \text{MLSS}$$

$$= 80\% \times 3000 = 2400 \text{ mg/l}$$

$$\text{Volume tangki (V)} = \left(\frac{4 \times 81,12}{24} \right) \times 4,3$$

$$= 27,4 \text{ m}^3 \approx 25 \text{ m}^3$$

$$\text{Cek HRT} = \frac{V}{Q} = \frac{25}{81,12} = 0,27 \text{ hari} = 6,5 \text{ jam}$$

- Rasio Resirkulasi Tangki Aerasi

$$Q_{\text{in}} = 81,12 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$X_{\text{in}} = Y \times \text{BOD}_{\text{in}}$$

$$= 0,6 \text{ kg VSS/kg BOD}_5 \times 238,8 \text{ mg/L}$$

$$= 142,8 \text{ mg/L}$$

$$Q_r/Q = 0,6$$

$$Q_r = 0,6 \times Q$$

$$= 0,6 \times 81,12 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 49,2 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$(Q_{\text{inf}} \times X_{\text{inf}}) + (Q_r \times X_r) = (Q_{\text{inf}} + Q_r) \times X$$

$$(81,12 \times 142,8) + (49,2 \times X_r) = (81,12 + 49,2) \times 2400$$

$$X_r = X_w = 8368,8 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned}\text{Sludge waste (Qw)} &= \frac{Px \text{ total}}{Xw} \\ &= \frac{4,3}{8,3} = 0,5 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

- Perhitungan Rasio F/M dan BOD loading rate

$$\begin{aligned}\text{Cek rasio F/M} &= \frac{Q \times BOD_{in}}{X \times V} \\ &= \frac{81,12 \times 238,8}{2400 \times 27,4} = 0,460 \text{ g/g.hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Cek BOD Loading Rate} &= \frac{Q \times BOD_{in}}{V} \\ &= \frac{81,12 \times 238,8}{27,4} \\ &= 2,43 \text{ kg/m}^3.\text{hari}\end{aligned}$$

- Perhitungan Transfer O₂

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan O}_2 \text{ (R}_o\text{)} &= Q \times (S_o - S_e) - 1,42 \times P_x + 4,33 \times Q \times NO_x \\ &= 81,12 \times (238,8 - 0,82) - 1,42 \times 4,3 \\ &\quad + 4,33 \times 81,12 \times 77,3 \\ &= 19,3 - 0,34 + 27,2 \\ &= 46,26 \text{ kg O}_2/\text{hari}\end{aligned}$$

- Kebutuhan Aerator

Aerator yang digunakan adalah dengan jenis *difused aerator*. Menurut lembar spesifikasi yang ada, *difused aerator* yang digunakan adalah Tipe APEX 2 dengan laju transfer O₂ 2 kg O₂/jam dan daya 0,7 kW.

$$\text{Trf O}_2 \text{ aerator per daya (N}_o\text{)} = \frac{2}{0,7} = 2,8 \text{ kg O}_2/\text{kW.jam}$$

$$\text{Faktor koreksi transfer O}_2 \text{ (}\alpha\text{)} = 0,85$$

$$\text{Faktor koreksi surf tension (}\beta\text{)} = 1$$

$$\text{O}_2 \text{ jenuh pada suhu 20}^\circ\text{C (C}_s\text{)} = 9,1 \text{ mg/l}$$

$$\text{O}_2 \text{ pada saat operasi (C}_L\text{)} = 2 \text{ mg/l}$$

Transfer O₂ sebenarnya (N)

$$\begin{aligned}&= N_o \times \left(\frac{\beta C_s - C_L}{9,17} \right) \times 1,024^{T-20} \times \alpha \\ &= 1,3 \times \left(\frac{1 \times 9,1 - 2}{9,17} \right) \times 1,024^{20-20} \times 0,85 = 1,46 \text{ kg O}_2/\text{kW.jam}\end{aligned}$$

Laju transfer O₂ 1 aerator

$$= 1,46 \times 0,7 = 1,022 \text{ kg O}_2/\text{jam}$$

$$= 24,5 \text{ kg O}_2/\text{hari}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah aerator dibutuhkan} &= \frac{Ro}{\text{laju trf } O_2 \text{ aerator sebenarnya}} \\ &= \frac{46,26}{24,5} = 2 \text{ buah}\end{aligned}$$

Pipa distribusi udara terbagi menjadi dua yaitu pipa *manifold* dan pipa lateral. Pipa *manifold* menyalurkan udara dari aerator dan membaginya ke pipa lateral dan diteruskan ke diffuser. Pada umumnya, diameter yang digunakan pada pipa manifold tangki aerasi adalah 6 in dan pipa lateral 4 in. Difuser yang digunakan pada perencanaan ini menggunakan jenis *Disc Diffuser* berdiameter 6 in dengan kecepatan distribusi 0,05 – 0,15 m³ udara per jam.

Kebutuhan Disc Diffuser tiap Aerator

Laju transfer udara pada tiap aerator adalah 24,5 kg O₂/hari atau 22,6 m³/hari.

$$\text{Kebutuhan diffuser} = \frac{22,6 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,25 \text{ m}^3/\text{jam} \times 24 \text{ jam}} = 18 \text{ disc}$$

Direncanakan jumlah pipa lateral tiap aerator adalah 3 sehingga jumlah disc tiap pipa lateral adalah 6.

- Dimensi Tangki Aerasi

Unit Anaerobik Filter 2 yang digunakan sebagai tangki aerasi sebanyak 2 kompartemen. Satu kompartemen digunakan sebagai bak pengendap 2. Menurut lembar spesifikasi aerator Tipe APEX 2 dapat beroperasi pada kedalaman air hingga 1-4,5 meter.

Direncanakan:

$$\text{Volume tangki (V)} = 27,4 \text{ m}^3$$

$$\text{Freeboard} = 0,5 \text{ m}$$

$$P = 4 \text{ m}; L = 2,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman air (h)} &= \frac{V}{\frac{As}{27,4}} \\ &= \frac{27,4}{10,4} = 2,64 \text{ m} \approx 3 \text{ m}\end{aligned}$$

- Zona Inlet

Zona inlet menggunakan saluran berupa pipa yang sama dengan saluran outlet pada unit bak pengendap 1 sebelumnya. Pipa inlet berada di bagian dasar tangki aerasi.

- Zona Outlet

Direncanakan:

Jumlah pipa 1 buah

Q pipa = Q_{bak} = 0,001 m³/detik

Panjang pipa = 5 m

Kecepatan (v) pipa = 0,5 m/detik

Perhitungan:

Diameter pipa

$$A = Q / v$$

$$= 0,001 \text{ m}^3/\text{detik} : 0,5 \text{ m/dt} = 0,02 \text{ m}^2$$

$$D = \left(\frac{4A}{\pi} \right)^{1/2} = \left(\frac{4 \times 0,02}{3,14} \right)^{1/2} = 0,07 \text{ m} \approx 100 \text{ mm}$$

Headloss (H_f)

$$\begin{aligned} H_f &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left(\frac{1}{0,00155 \times 120 \times 10^{2,63}} \right)^{1,85} \times 5 \\ &= 0,01 \text{ m} \end{aligned}$$

Elevasi Muka Air

- Elevasi muka air Tangki Aerasi = + 3,7 m

- Elevasi muka air inlet unit selanjutnya = + 3,6 m

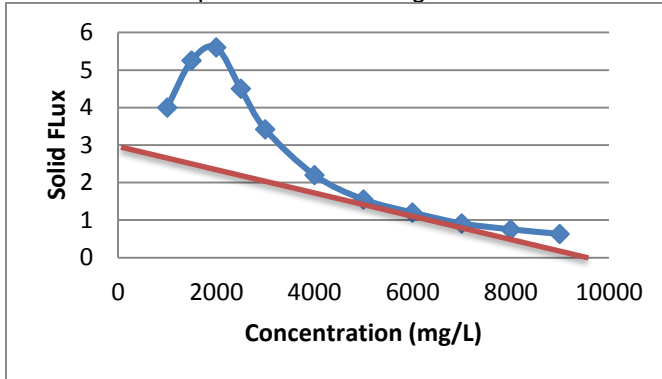
7.2.7 Bak Pengendap 2

Bak Pengendap II pada IPAL pabrik tahu direncanakan bangunan secara sederhana karena keterbatasan SDM pengelola.

- Direncanakan 1 buah *secondary clarifier* berbentuk rektangular
- Q = 81,12 m³/hari
- X_{MLSS} = 3000 mg/L = 3 kg/m³
- Sludge Waste (Q_w) = 0,5 m³/hari

Dimensi Secondary Clarifier

- Dari grafik didapatkan untuk $X = 3000$ memiliki nilai $SF = 3$
Nilai solid flux dapat dilihat melalui grafik berikut:



Gambar 7. 8 Hubungan Solid Flux dengan MLSS

- Luas Permukaan SC (A_s) =

$$\frac{Q \cdot X}{SF} = \frac{3,4 \text{ m}^3/\text{jam} \cdot 3\text{kg/m}^3}{3 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{jam}} = 3,4 \text{ m}^2$$

Bak Pengendap menggunakan kompartemen 3 unit AF 2 eksisting yang mempunyai ukuran $A_s = 4 \text{ m} \times 1,3 \text{ m} = 5,2 \text{ m}^2$.
As kompartemen 3 AF2 masih bisa digunakan sebagai Bak Pengendap 2.

Overflow rate

$$= \frac{Q}{A} = \frac{81,12 \text{ m}^3/\text{hari}}{5,2 \text{ m}^2} = 16,2 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

memenuhi $15\text{--}40 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$

Kontrol Solid Loading

$$\text{Solid Loading} = \frac{Q}{A} = \frac{3,4 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 4 \text{ kg/m}^3}{5,2 \text{ m}^2} = 3,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot \text{jam}$$

(memenuhi (3-6))

Kedalaman Secondary Clarifier **Zona Thickening**

Total massa solid dari AT (Tms)

$$\begin{aligned} &= X_{MLSS} \times \text{Volume AT} \\ &= 3 \text{ kg/m}^3 \times 27,4 \text{ m}^3 \\ &= 82,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total massa solid di SC (Tmsc)} &= (\% \text{ massa solid tertahan}) \times Tms \\ &= (30) \times 82,2 \text{ kg} \\ &= 24,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kedalaman Zona Thickening

$$= \frac{Tmsc}{X_R \times A} = \frac{24,6 \text{ kg}}{8,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 5,2 \text{ m}^2} = 0,52 \text{ m}$$

Kedalaman *clear water zone* direncanakan 1 m

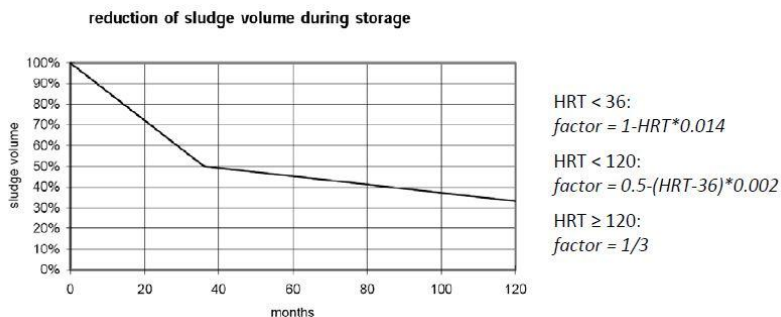
$$H_{\text{total}} = 0,52 + 1 = 1,83 \text{ m}$$

Sludge Storage Zone

Durasi pengurasan akan dilakukan setiap 2 - 3 tahun sekali menurut anjuran dinas PU Cipta Karya sebagai bentuk operasi dan perawatan IPAL komunal. Produksi lumpur TSS pada bak pengendap yang akan dikuras setiap 2 tahun sekali, dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Produksi Lumpur} &= \text{Lumpur TSS} \times \text{Durasi Pengurasan} \\ &= 24,6 \text{ kg/hari} \times 2 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari} \\ &= 17958 \text{ kg/2 tahun} \end{aligned}$$

Stabilisasi lumpur adalah proses sampai lumpur stabil. Dimana Stabilisasi lumpur bertujuan untuk menghindari terjadinya pembusukan lumpur, mencegah bau yang mengganggu, serta untuk mengurangi konsentrasi materi volatil dan kandungan patogen di dalam lumpur.



Gambar 7. 9 Grafik Reduction of Sludge Volume During Storage

Berdasarkan grafik dengan HRT 2 tahun, maka diperoleh
 Faktor untuk HRT < 36

$$\begin{aligned}
 \% \text{ stabilisasi} &= 1 - 24 \times 0,014 \\
 &= 0,664 \\
 &= 66,4 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Stabilisasi lumpur 2 tahun} &= 66,4 \% \times \text{produksi lumpur} \\
 &= 66,4 \% \times 17958 \text{ Kg/tahun} \\
 &= 11852 \text{ Kg/tahun}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan besar volume lumpur yang terbentuk massa lumpur yang telah diketahui sebelumnya perlu konversi dengan densitas lumpur sehingga didapatkan volume lumpur. Berikut perhitungan volume lumpur yang terbentuk,
 Ditetapkan : thickening 5% ; masa jenis padat = 2,65 kg/l ; masa jenis air = 1 kg/l

$$\begin{aligned}
 \text{Densitas Lumpur} &= \frac{(5\% \times \rho_{\text{solid}}) - (95\% \times \rho_{\text{air}})}{100\%} \\
 &= \frac{(5\% \times 2,65) - (95\% \times 1)}{100\%} \\
 &= 1,0825 \text{ kg/l}
 \end{aligned}$$

Berikut perhitungan volume lumpur yang terbentuk selama 2 tahun.

$$\begin{aligned}\text{Volume Lumpur} &= \frac{\text{Stabilisasi lumpur}}{\rho \text{ lumpur}} \\ &= \frac{11582}{1,0825} = 11021 \text{ l}/2 \text{ tahun} = 11,02 \text{ m}^3/2 \text{ tahun}\end{aligned}$$

Pompa dan Pipa Lumpur ke Unit Tangki Aerasi

Pompa resirkulasi dan pompa lumpur direncanakan menggunakan pipa *suction* dan pipa *discharge*

Debit resirkulasi (Q) = 49,2 m³/hari = 0,0005 m³/detik

Vasumsi = 0,5 m/detik

A = Q x V = 0,0005 m³/detik x 0,5 m/detik = 0,00025 m²

A = $\frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$

D = 5 mm

Head statis = 3,9 m

L suction = 7 m

L discharge = 10 m

Mayor losses:

H_fsuction

$$\begin{aligned}H_f &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left(\frac{16}{0,00155 \times 120 \times 15^{2,63}} \right)^{1,85} \times 7 \\ &= 0,05 \text{ m}\end{aligned}$$

H_fdischarge

$$\begin{aligned}H_f &= \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left(\frac{16}{0,00155 \times 120 \times 15^{2,63}} \right)^{1,85} \times 10 \\ &= 0,052 \text{ m}\end{aligned}$$

H_fmayor losses = 0,05m + 0,052 m = 0,1 m

Head total = 7 + 0,83 = 7,83 m

Daya pompa yang dibutuhkan dapat digunakan persamaan berikut:

Whp =

$$\frac{\gamma \times Q \times H}{75} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} \times 0,0005 \frac{m^3}{detik} \times 7,83}{75} = 0,7 \text{ hp} = 0,4 \text{ kW}$$

7.2.8 Penyisihan Total Coliform

Direncanakan :

Desinfektan yang dipakai ini adalah Kaporit [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$]	
Kadar klor dalam kaporit	= 60%
Berat jenis kaporit	= 0,86 kg/L
Konsentrasi larutan, Cl	= 1%
Daya Pengikat Klor	= 30 mg/L
Sisa Klor	= 0,3 mg/L
Dosis Klor	= DPC + Sisa Klor
	= 10 + 0,3 = 10,3 mg/L
Q air	= 0,001 m ³ /detik

Perhitungan Dimensi Unit:

Kebutuhan Kaporit	$= \frac{100}{60} \times \text{dosis klor} \times Q$ $= \frac{100}{60} \times 30,3 \text{ mg/L} \times 1 \text{ L/detik}$ $= 50,5 \text{ mg/detik}$ $= 4,35 \text{ kg/hari}$
Volume kaporit	$= \frac{\text{Kebutuhan kaporit}}{\text{berat jenis kaporit}}$ $= \frac{4,35 \text{ kg/hari}}{0,86 \text{ kg/Lt}} = 5 \text{ L/hari}$
Volume pelarut	$= \frac{(100\% - 1\%)}{5\%} \times \text{Volume kaporit}$ $= \frac{(100\% - 1\%)}{1\%} \times 5 \text{ L/hari}$ $= 485 \text{ L/hari}$
Volume larutan kaporit	$= \text{Vol. kaporit} + \text{Vol. pelarut}$ $= 5 \text{ L/hari} + 485 \text{ L/hari}$ $= 490 \text{ L/hari}$

Bak desinfeksi menggunakan tandon air berukuran 500 L yang ada di pasaran dengan ukuran diameter 1,75 m dan tinggi 1,9 m.

Perhitungan Debit Pembubuhan:

Pembubuhan dilakukan menggunakan *dosing pump*.

Debit = $0,49 \text{ m}^3/24 \text{ jam}$

= $5,7 \text{ mL/dtk}$

Karakteristik air limbah domestik setelah melewati proses disinfeksi dapat lihat pada Tabel 7.11.

Tabel 7. 12 Karakteristik Efluen Air Limbah Domestik dan Tahu

Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu
pH	-	6,95	6 – 9
TSS	mg/L	6,2	30
COD	mg/L	55,2	100
BOD	mg/L	0,82	30
N	mg/L	10	10
Minyak &	mg/L	2,18	5
Total Coliform	MPN/100	0	3000

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 8

PERENCANAAN PENYALURAN BIOGAS

Kemampuan pelayanan biogas menurut perhitungan adalah 67 rumah dengan perkiraan masing-masing rumah menggunakan tabung LPG 3kg 4 buah per bulannya. Jaringan pipa biogas direncanakan mengikuti jaringan pipa SPAL agar mudah pemantauan dan penanaman pipa. Biogas hasil proses anaerobik air limbah tahu ditampung di dalam gas holder yang berperan juga sebagai penutup digester. Biogas tersebut akan dibersihkan dari zat pengotor seperti H_2S , air, dan CO_2 . Perencanaan akan memperhatikan tekanan yang dihasilkan gas holder apakah bisa menjangkau titik terjauh biogas atau tidak.

8.1 Gas Holder

Unit Gas *holder* berfungsi untuk menampung gas yang dihasilkan dari proses anaerobik di dalam digester. Gas *holder* yang direncanakan menggunakan sistem *floating*. Prinsip kerja pada gas holder sistem *floating* adalah apabila gas terbentuk maka drum akan naik karena gas mengisi bagian dalam drum sehingga mengangkat drum ke atas, sedangkan jika gas terpakai dan volumenya berkurang, maka drum akan turun. Pada bagian dalam gas *holder* dipasang saluran pipa pembuang gas apabila gas yang diproduksi melebihi kapasitas dari gas *holder*. Keuntungan dari sistem ini adalah dapat melihat secara langsung volume gas yang tersimpan pada drum karena pergerakannya dan terdapat garis ukur pada luar sisi drum. Sedangkan kerugiannya adalah biaya material konstruksi dari drum biasanya lebih mahal. Bahan yang digunakan dalam pembuatan gas *holder* adalah *fiberglass* setebal 7 mm. *Fiberglass* terbuat dari campuran serat fiberglass dan resin sebagai perekat dengan perbandingan 1 : 9.

Kapasitas biogas yang dapat ditampung oleh gas *holder* sama dengan volume gas *holder* yang terdiri dari volume tabung dan seperbagian volume bola dengan perhitungannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot h \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 6,6^2 \cdot 3,5 \\ &= 109 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bagian Bola} &= (1,3/6,6) \cdot 4/3 \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot d^3 \cdot h \\
 &= (1,3/6,6) \cdot 4/3 \cdot 1/4 \cdot 3,14 \cdot 6,6^3 \cdot 1,3 \\
 &= 24,5 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Gas Holder} &= \text{Volume Tabung} + \text{Volume bagian Bola} \\
 &= 109 \text{ m}^3 + 24,5 \text{ m}^3 \\
 &= 133,5 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dengan mengetahui dimensi dan bahan penyusun gas holder, maka dapat melakukan pendekatan terkait besar tekanan yang timbul akibat berat dari gas holder terhadap biogas. Besarnya tekanan yang diberikan gas holder terhadap biogas dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{F}{A}, \quad F = m \times g, \quad m = \rho \times V$$

Keterangan :

P = Tekanan (N/m²)

F = Gaya (N)

A = Luas Penampang (m²)

m = Massa Benda (kg)

g = Gaya Gravitasi (m/s²)

= 9,81 m/s²

ρ = Massa Jenis (kg/m³)

V = Volume (m³)

Karena bahan penyusun fiberglass terdiri dari dua bahan yang memiliki massa jenis zat yang berbeda maka perlu dilakukan perhitungan massa jenis campuran. Perbandingan komposisi antara serat fiberglass dan resin adalah 1:9. Massa jenis dari serat fiberglass adalah 2.550 kg/m³ dan massa jenis resin adalah 1.230 kg/m³. Perhitungan massa jenis campuran menggunakan perhitungan berikut:

$$\rho_{\text{campuran}} = \frac{(V1 \times \rho1) + (V2 \times \rho2)}{V1 + V2}$$

$$\rho_{\text{campuran}} = \frac{(1 \times 2.550 \text{ kg/m}^3) + (9 \times 1.230 \text{ kg/m}^3)}{1 + 9}$$

$$\rho_{\text{campuran}} = \frac{(2.550 \text{ kg/m}^3) + (11.070 \text{ kg/m}^3)}{10}$$

$$\rho_{\text{campuran}} = \frac{13.620 \text{ kg/m}^3}{10}$$

$$\rho_{\text{campuran}} = 1.362 \text{ kg/m}^3$$

Tekanan yang Timbul dari Gas Holder

Volume Kulit Gas Holder (V)

$$= \text{Luas Kulit Gas Holder} \times \text{Tebal Gas Holder}$$

$$= (\text{Luas Selimut Tabung} + \text{Luas sebagian Bola}) \times 7 \text{ mm}$$

$$= [(\pi \cdot d \cdot t) + (\frac{1,3}{6,6} \cdot \pi \cdot d \cdot d)] \times 7 \text{ mm}$$

$$= [(3,14 \cdot 6,6 \text{ m} \cdot 3,5 \text{ m}) + (\frac{1,3}{6,6} \cdot 3,14 \cdot 6,6 \text{ m} \cdot 6,6 \text{ m})] \times 0,007$$

m

$$= (72,54 \text{ m}^2 + 27 \text{ m}^2) \times 0,007 \text{ m}$$

$$= 0,696 \text{ m}^3 \approx 0,7 \text{ m}^3$$

Massa Kulit Gas Holder (kg)

$$= \rho \times V$$

$$= 1.362 \text{ kg/m}^3 \times 0,7 \text{ m}^3$$

$$= 953,4 \text{ kg}$$

Ditambahkan beban 200 kg untuk penambahan tekanan

Beban total = 1153,4 kg

Gaya dari Kulit Gas Holder (F)

$$= m \times g$$

$$= 1153,4 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$= 11315 \text{ N}$$

Tekanan dari Kulit Gas Holder Proma (P)

Gaya dari Kulit Gas Holder Proma (F)

$$= \frac{11315 \text{ N}}{\text{Luas Alas Gas Holder (A)}}$$

$$= \frac{11315 \text{ N}}{3,14 \cdot 6,6 \times 6,6 \text{ m}}$$

$$= \frac{11315 \text{ N}}{34 \text{ m}^2}$$

$$= 332 \text{ N/m}^2$$

$$= 0,0033 \text{ bar}$$

$$= 0,0035 \text{ kg/cm}^2$$

Jadi, biogas mendapatkan tekanan dari berat gas holder pabrik tahu Proma adalah sebesar 0,0035 kg/cm²

8.2 Unit Pelengkap Biogas

Unit Pelengkap biogas pada pabrik tahu Asri direncanakan ada water trap dan tabung pemurnian biogas. Masing-masing unit memiliki fungsi khusus guna mendukung dan memudahkan pemanfaatan biogas hasil pengolahan limbah cair tahu.

1. Water Trap

Water Trap berfungsi sebagai penangkap air sehingga tidak menyumbat saluran dan menghambat penyaluran gas. Hal ini dikarenakan gas yang dihasilkan tidak hanya gas metan tetapi ada beberapa gas lain yang dapat berubah menjadi wujud cair pada suhu tertentu. *Water Trap* terbuat dari pipa pvc dan model bentuknya seperti leher angsa. Pemasangan *Water Trap*



dilakukan di beberapa titik yang dianggap potensi terbentuknya zat cair besar. foto tampak dari water trap pada saluran gas pengolahan limbah cair pabrik tahu Proma dapat dilihat pada gambar 8.1 berikut.

Gambar 8. 1 Contoh Water Trap di Saluran Gas

(Sumber: DLH Kota Probolinggo)

2. Tabung Karbon Aktif

Penelitian yang dilakukan Harihastuti, dkk (2016) terhadap pemurnian biogas hasil pengolahan limbah tahu menggunakan karbon aktif dapat meningkatkan konsentrasi

gas CH₄ hingga 84,12 %. Kandungan CO₂ hasil pemurnian menggunakan karbon aktif turun menjadi 6,9 % dari 30,77%. Penurunan gas H₂S mencapai 90% Variabel yang digunakan adalah berat karbon aktif 25000 g, dan flowrate biogas 47 L/menit. Ukuran karbon aktif berbentuk granul dengan ukuran 6 x 12 mm. Instalasi adsorpsi menggunakan pipa diameter 100 mm yang disusun secara seri.

$$\begin{aligned} Q \text{ biogas} &= 38 \text{ m}^3/\text{hari CH}_4 / 65\% \\ &= 58,4 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 40 \text{ L/menit} \end{aligned}$$

Debit biogas pabrik tahu Asri memiliki nilai yang hampir sama dengan debit biogas penelitian yang dilakukan Harihastuti, dkk (2016). Proses pemurnian dengan cara yang sama dapat diterapkan pada pabrik tahu Asri menggunakan pipa pvc berjenjang yang berisi karbon aktif. Ukuran tabung karbon aktif direncanakan panjang 2 m dan terdapat 5 seri pipa. Waktu pengaktifan kembali karbon aktif adalah setelah pemakaian 6 hari. Karbon aktif dicuci dengan air kemudian dipanaskan untuk menghilangkan kadar air.

8.3 Jaringan Pipa Biogas

Jaringan pipa distribusi biogas jalurnya disamakan dengan jalur SPAL. Penanaman pipa biogas dilakukan pada kedalaman 30 cm. Diameter pipa distribusi direncanakan 3 inci atau 75 mm pada jaringan distribusi, kemudian digunakan pipa ukuran 1,5 inci untuk sambungan ke rumah warga.

Pengecekan terhadap tekanan

$$\text{Saat gas holder penuh Volume biogas} = 130 \text{ m}^3$$

$$\text{Tekanan biogas} = 332 \text{ N/m}^2$$

Penggunaan biogas serentak 40 rumah

$$\text{Debit distribusi} = 40 \text{ L/menit} \times 40 \text{ rumah} = 1600 \text{ L/menit} = 0,0267 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = Q/A = 0,0267 / 0,0314 = 0,85 \text{ m/s}$$

Pipa terpanjang adalah 296 m dengan debit sisa 0,006 m³/s

V konstan

$$P1-P2 = \frac{3,608 \times \text{densitas} \times f \times L \times Q}{D^5}$$

$$332-P2 = \frac{3,608 \times 0,75 \times 0,012 \times 296 \times 0,006}{0,075^5}$$

$$332 - P_2 = 24,3$$

$$P_2 = 332 - 24,3 = 307 \text{ N/m}^2$$

Tekanan biogas di pabrik tahu Sumber Baru adalah 53 N/m^2 dan itu masih bisa menjangkau rumah terjauh. Berarti sisa tekan untuk pabrik tahu masih memenuhi kebutuhan puncak biogas.

BAB 9 BILL OF QUANTITY DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA

Bill of Quantity (BOQ) adalah perhitungan suatu bahan atau material untuk mengetahui jumlah atau volume dibutuhkan, sedangkan Rencana Anggaran Biaya adalah perhitungan suatu bahan atau bangunan untuk mengetahui biaya yang dibutuhkan melalui Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK).

9.1 Perpipaan

Perencanaan ini menggunakan pipa PVC khusus air limbah yang setiap variasi diameternya memiliki panjang 6 m. Berikut adalah rincian jumlah pipa yang dibutuhkan setiap jalurnya.

Tabel 9. 1 Jumlah Pipa SPALDT dan SPALDS

Pipa	Panjang (m)	D Apply (m)	Jumlah
SPALDT			
Pipa 100 mm			
a1 - A	158	0,100	26
a2 - A	280	0,100	47
b1 - B	280	0,100	47
c1 - C	156	0,100	26
d1 - D	300	0,100	50
e1 - E	158	0,100	26
e2 - E	282	0,100	47
f1 - F	250	0,100	42
g1 - G	324	0,100	54
h1 - H	403	0,100	67
i1 - I	431	0,100	72
i2 - I	312	0,100	52
j1 - j2	162	0,100	27

Pipa	Panjang (m)	D Apply (m)	Jumlah
j3 - j4	285	0,100	48
j5 - j6	193	0,100	32
j7 - j8	232	0,100	39
k1 - K	621	0,100	104
l1 - L	368	0,100	61
m1 - M	536	0,100	89
n1 - N	417	0,100	70
o1 - O	408	0,100	68
p1 - P	165	0,100	28
q1 - Q	390	0,100	65
r1 - r2	340	0,100	57
r2 - r3	158	0,100	26
r3 - r4	220	0,100	37
r4 - R	153	0,100	26
r5 - R	152	0,100	25
s1 - S	392	0,100	65
t1 - T	406	0,100	68
u1 - u2	324	0,100	54
u2 - U	607	0,100	101
v1 - V	213	0,100	36
w1 - W	482	0,100	80
x1 - X	292	0,100	49
y1 - y2	115	0,100	19
A - B	75	0,100	13
B - C	153	0,100	26
G - H	134	0,100	22
H - I	214	0,100	36

Pipa	Panjang (m)	D Apply (m)	Jumlah
K - L	105	0,100	18
L - M	166	0,100	28
Total			1969
Pipa 125 mm			
C - D	77	0,125	13
D - E	305	0,125	51
M - N	122	0,125	20
N - O	192	0,125	32
W - X	140	0,125	23
X - y2	120	0,125	20
Total			159
Pipa 150 mm			
E - F	322	0,150	54
F - j2	162	0,150	27
I - J	322	0,150	54
O - P	312	0,150	52
P - Q	392	0,150	65
Q - j6	205	0,150	34
y2 - Y	87	0,150	15
Total			300
Pipa 200 mm			
j2 - j4	300	0,200	50
j4 - J	12	0,200	2
j6 - j8	278	0,200	46
j8 - J	32	0,200	5
Total			104

Pipa	Panjang (m)	D Apply (m)	Jumlah
Pipa 300 mm			
J - R	178	0,300	30
R - S	8	0,300	1
S - T	322	0,300	54
T - U	110	0,300	18
U - V	100	0,300	17
V - Y	220	0,300	37
Y - Z	318	0,300	53
Z - IPAL	15	0,300	3
Total			212
Pipa SPALDS			
a1 - a2	17	0,100	3
a2 - A	9,5	0,100	2
a3 - A	21,5	0,100	4
A - b1	8	0,100	1
b1 - b2	9,5	0,100	2
b2 - B	12,3	0,100	2
b3 - b4	6	0,100	1
b4 - B	29,5	0,100	5
B - c1	15	0,100	3
c1 - c2	22,3	0,100	4
c2 - c3	10,7	0,100	2
c3 - C	11,6	0,100	2
c4 - c5	11	0,100	2
c5 - c7	12,6	0,100	2
c6 - c7	12,6	0,100	2
c7 - c8	9	0,100	2

Pipa	Panjang (m)	D Apply (m)	Jumlah
c8 - C	26,2	0,100	4
C - D	44,6	0,100	7
d1 - d4	23	0,100	4
d2 - d3	25	0,100	4
d3 - d4	12,4	0,100	2
d4 - d5	7	0,100	1
d5 - d8	5	0,100	1
d6 - d7	13,5	0,100	2
d7 - d8	8	0,100	1
d8 - d9	4,5	0,100	1
d9 - d10	9	0,100	2
d10 - d13	13	0,100	2
d11 - d12	9,6	0,100	2
d12 - d13	6	0,100	1
d13 - d14	15,8	0,100	3
d14 - D	22,5	0,100	4
D - e1	6	0,100	1
e3 - E	15,2	0,100	3
e4 - e5	19,6	0,100	3
e5 - e6	24	0,100	4
e6 - E	20,8	0,100	3
E - F	6	0,100	1
f1 - f2	18,3	0,100	3
f2 - F	23,7	0,100	4
F - G	66,3	0,100	11
G - IPAL	6	0,100	1
Total			118

Tabel 9. 2 RAB Pipa SPALDT dan SPALDS

Pipa	Jumlah	Harga/pcs	Harga Total
SPALDT			
100 mm	1969	Rp 298.500	Rp 587.647.000
125 mm	159	Rp 466.160	Rp 74.274.827
150 mm	300	Rp 610.485	Rp 183.348.995
200 mm	104	Rp 949.420	Rp 98.423.207
300 mm	212	Rp 1.965.000	Rp 416.252.500
Total			Rp 1.359.946.528
SPALDS			
100 mm	118	Rp 298.500	Rp 35.078.725

9.2 Bangunan Pelengkap

Bangunan pelengkap yang digunakan pada SPAL adalah *manhole*, siphon, dan bak kontrol yang diletakkan di setiap rumah.

9.2.1 Manhole

Manhole setiap Zona memiliki jumlah yang berbeda, dimana *manhole* yang digunakan diantaranya yaitu *manhole* lurus, *manhole* belokan, *manhole* pertigaan, *manhole* perempatan, dan drop *manhole*. Jumlah keseluruhan manhole disajikan pada Tabel 9.3. Setelah diketahui jumlah yang dibutuhkan, maka dapat ditentukan HSPK manhole yang disajikan pada Tabel 9.4

Tabel 9. 3 Bill of Quantity Manhole

No	Jenis Manhole	SPALDT	SPALDS
		buah	buah
1	Lurus	108	6
2	Belokan	7	0
3	Pertigaan	0	1
4	Perempatan	0	1
5	Drop	17	0
Total		132	8

Tabel 9. 4 HSPK 1 Unit Manhole Tipikal

No	Uraian	Satuan	Harga	
			Bahan	Upah
	Bahan			
1	GalianTanah	m ³	-	Rp86.450
2	Pas Urug	m ³	Rp180.240	Rp34.580
3	Rabat Beton	m ³	Rp57.287	Rp10.040
4	Lantai Kerja K-225	m ³	Rp754.392	Rp168.640
5	Dinding, Beton Bertulang 1:2:3	m ³	Rp1.663.561	Rp612.160
6	Cover, Beton Bertulang 1:2:3	m ³	Rp786.076	Rp343.988
7	Tutup, Beton Bertulang 1:2:3	m ³	Rp287.807	Rp103.341
Total			Rp5.088.566	

Tabel 9. 5 RAB Manhole SPALDT dan SPALDS

No	Harga/MH	SPALDT	SPALDS
		buah	buah
1	Rp5.088.566	132	8
Total		Rp 671.690.448	Rp 40.708.528

9.2.2 Bak Kontrol

Perencanaan bak kontrol dipasang sesuai jumlah rumah terlayani sebanyak 11335 sambungan rumah untuk SPALDT dan 67 untuk SPALDS. Berikut merupakan HSPK dari unit bak kontrol yang didesain sama untuk seluruh rumah yang disajikan pada Tabel 9.6

Tabel 9. 6 HSPK 1 Unit Bak Kontrol Tipikal

No	Uraian	Satuan	Harga	
			Bahan	Upah
	Bahan			
1	GalianTanah	m ³		Rp86.450
2	Pas Urug	m ³	Rp180.240	Rp34.580

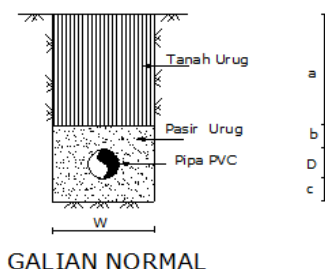
No	Uraian	Satuan	Harga	
			Bahan	Upah
3	Pasangan 1/2 Bata 1:2	m ³	Rp157.994	Rp45.926
4	Lantai Kerja K-225	m ³	Rp786.076	Rp343.988
5	Cover, Beton Bertulang 1:2:3	m ³	Rp287.807	Rp103.341
6	Tutup, Beton Bertulang 1:2:3	m ³	Rp754.392	Rp168.640
Total			Rp2.949.437	

Tabel 9. 7 RAB Bak K0ntrol SPALDT dan SPALDS

No	Harga/MH	SPALDT	SPALDS
		buah	buah
1	Rp2.949.437	11335	67
Total		Rp 33.431.584.000	Rp 201.003.534

9.3 Galian dan Urugan Pipa

Penggalian pipa disesuaikan pada keadaan tanah di wilayah perencanaan yang cenderung stabil atau normal. Penanaman pipa dari muka tanah direncanakan sesuai dengan perhitungan penanaman pipa yang telah dihitung sebelumnya. Bentuk galian yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 9.1.



Gambar 9. 1 Galian Normal Pipa Penyalur Air Limbah

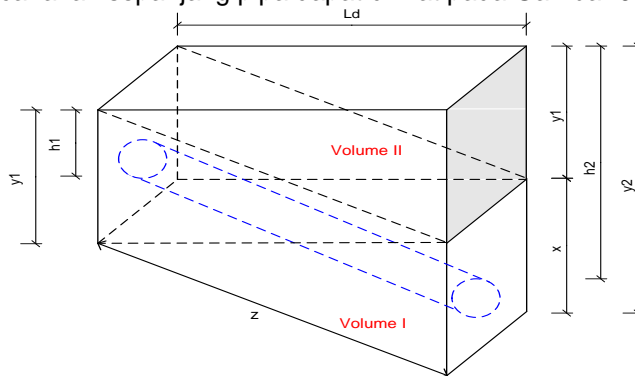
Nilai a,b,c,d dan w telah diatur dalam standar Departemen Pekerjaan Umum untuk dimensi saluran yang direncanakan yang dapat dilihat melalui Tabel 9.8

Tabel 9. 8 Standar Urugan Galian yang Diperkenankan

D	abcd	w	a	b	c
(mm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
50-100	100-115	55-60	65-75	15	15
150-200	120-125	65-70	75	15	15
250-300	130-135	75-80	75	15	15
350-400	140-150	85-95	75	15	15
500-600	160-170	100-110	75	15	15

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum

Berdasarkan peraturan di atas maka dapat ditentukan dimensi setiap saluran. Direncanakan memiliki standar urugan galian yang sama untuk SPALDT dan SPALDS sesuai dengan pipa tersier, sekunder, maupun primer. Bentuk galian yang direncanakan sepanjang pipa dapat dilihat pada Gambar 9.2



Gambar 9. 2 Bentuk Galian yang Direncanakan Sepanjang Saluran

Berdasarkan gambar bentuk galian yang direncanakan sepanjang pipa, maka dapat dihitung untuk galian pipa.

- D = diameter pipa.
- h = kedalaman penanaman pipa.
- h1 = kedalaman penanaman pipa awal.
- h2 = kedalaman penanaman pipa akhir.
- y = kedalaman galian = $h + D + c$.

y_1 = kedalaman galian awal.
 y_2 = kedalaman galian akhir.
 x = $y_2 - y_1$, $z = ((y_1^2) + (L \text{ pipa}^2))^{1/2}$
 Volume galian I = $[(0,3 \times 2) + D] \times y_1 \times L$
 Volume galian II = $\frac{1}{2} [0,3 \times 2 + D] \times y_1 \times L$
 Volume galian total = Volume galian I + Volume galian II
 Volume pipa = $\frac{1}{4} \pi D^2 \times L$
 Volume urugan pasir
 = $[D + (0,3 \times 2)] \times (b + D + c) \times L - \text{Volume pipa}$.
 Volume Sisa Tanah Galian
 = Volume galian total – Volume urugan pasir.

Contoh perhitungan BOQ galian pipa pada jalur pipa G-H adalah sebagai berikut :

$D = 0,1 \text{ m}$
 Panjang saluran = $L \text{ pipa} = 136 \text{ m}$
 $h_1 = 0,71 \text{ m}$, $h_2 = 1,50 \text{ m}$, $c = 0,15$
 $y_1 = h_1 + D + c = 0,71 + 0,11 + 0,15 = 0,97 \text{ m}$
 $y_2 = h_2 + D + c = 1,50 + 0,11 + 0,15 = 1,76 \text{ m}$
 $x = y_2 - y_1 = 1,76 - 0,97 = 0,79 \text{ m}$
 $Z = [(0,97) + (18496)]^{1/2} = 9248 \text{ m}$
 Volume galian I = $[(0,3 \times 2) + D] \times y_1 \times L$
 = $[(0,3 \times 2) + 0,11] \times 0,97 \times 136$
 = $93,87 \text{ m}^3$
 Volume galian II = $\frac{1}{2} [0,3 \times 2 + D] \times y_1 \times L$
 = $\frac{1}{2} [0,3 \times 2 + 0,11] \times 0,97 \times 136$
 = $38,12 \text{ m}^3$

Volume galian total
 = Volume galian I + Volume galian II
 = $93,87 \text{ m}^3 + 38,12 \text{ m}^3$
 = $131,99 \text{ m}^3$

Bongkar paving
 = lebar galian x panjang pipa
 = $(0,3 \times 2) \times 136 \text{ m}$
 = $81,78$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume pipa} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \times L \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,11^2 \times 136 \\
 &= 1,3 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume urugan pasir} &= [(D + (0,3 \times 2)) \times (b + D + c) \times L] - \text{Volume Pipa} \\
 &= [(0,11 + (0,3 \times 2)) \times (0,15 + 0,11 + 0,15) \times 136] - (1,3) \\
 &= 38,38 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Sisa Tanah Galian} &= \text{Volume galian total} - \text{Volume urugan pasir.} \\
 &= 131,99 \text{ m}^3 - 38,38 \text{ m}^3 \\
 &= 93,61 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan BOQ galian dan urugan pipa pada saluran selanjutnya dapat dilihat pada Lampiran. Berikut merupakan hasil analisa HSPK yang digunakan untuk pekerjaan SPAL yang disajikan pada Tabel 9.9

Tabel 9. 9 Analisis HSPK Sistem Penyaluran Air Limbah

No.	Uraian Kegiatan	Koef.	Satuan	Harga Satuan	Harga
1	Pembongkaran Paving Dipakai Kembali (m ²)				
	Upah				
	Mandor	0,02	Orang Hari	163000	3260
	Tenaga Kasar	0,04	Orang Hari	116000	4640
	Jumlah				7900
	Nilai HSPK				7900
2	Penggalian Tanah Biasa Untuk Konstruksi (m ³)				
	Upah				
	Mandor	0,025	Orang Hari	163000	4075
	Pembantu Tukang	0,75	Orang Hari	115000	86250
	Jumlah				90325
	Nilai HSPK				90325
3	Pengurugan Pasir (PADAT)				
	Upah:				
	Mandor	0,01	Orang Hari	163000	1630

No.	Uraian Kegiatan	Koef.	Satuan	Harga Satuan	Harga
	Pembantu Tukang	0,3	Orang Hari	115000	34500
	Jumlah				36130
	Bahan:				
	Pasir Urug	1,2	m ³	187200	224640
	Jumlah				224640
	Nilai HSPK				260770
4	Pengurugan Tanah Kembali Untuk Konstruksi				
	Upah:				
	Mandor	0,019	Orang Hari	163000	3097
	Pembantu Tukang	0,102	Orang Hari	115000	11730
	Jumlah				14827
	Nilai HSPK				14827
5	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek (m ³)				
	Upah:				
	Pembantu Tukang	0,25	Orang Hari	115000	28750
	Jumlah				28750
	Sewa Peralatan:				
	Sewa Dump Truk 5 Ton	0,25	Jam	71900	17975
	Jumlah				17975
	Nilai HSPK				46725
7	Pemasangan Pipa Air Kotor				
	Upah:				
	Mandor	0,0041	Orang Hari	163000	668
	Kepala Tukang Batu	0,0135	Orang Hari	153000	2066
	Tukang Batu	0,135	Orang Hari	126000	17010
	Pembantu Tukang	0,081	Orang Hari	115000	9315
	Jumlah				29059
	Bahan:				
	Perlengkapan 35% harga pipa	0,105	Buah	577000	9585
	Jumlah				9585
	Nilai HSPK				60585
8	Pengurugan Pasir Untuk Paving (m ³)				

No.	Uraian Kegiatan	Koef.	Satuan	Harga Satuan	Harga
	Upah:				
	Mandor	0,01	Orang Hari	163000	1630
	Pembantu Tukang	0,3	Orang Hari	115000	34500
	Jumlah				36130
	Bahan:				
	Pasir Urug	1,2	m ³	187200	224640
	Jumlah				224640
	Nilai HSPK				260770
9	Pemasangan Paving Stone (Blok) Tbl. 6 cm Abu-2 Empat Persegi Panjang				
	Upah:				
	Mandor	0,025	Orang Hari	163000	4075
	Kepala Tukang	0,025	Orang Hari	153000	3825
	Tukang	0,05	Orang Hari	126000	6300
	Pembantu Tukang	0,05	Orang Hari	115000	5750
	Jumlah				19950
	Bahan/Material:				
	Paving Stone Abu-abu Persegi Panjang	1	m ²	78000	78000
	Jumlah				78000
	Nilai HSPK				97950

Sumber: HSPK Kota Surabaya, 2017

Perhitungan BOQ selesai dilakukan kemudian dilakukan analisis HSPK SPAL, maka dapat diketahui RAB SPAL seluruh cluster yang disajikan pada Tabel 9.10

Tabel 9. 10 RAB SPAL

No	Uraian Pekerjaan	Unit	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Pembongkaran Aspal	m ³	29683,52	Rp7.900	Rp315.934.776
2	Galian	m ³	96685,91	Rp90.325	Rp9.287.954.549
3	Urugan Pasir	m ³	23068,52	Rp36.130	Rp708.295.597

No	Uraian Pekerjaan	Unit	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
4	Urugan Tanah Kembali	m ³	12791,40	Rp260.770	Rp21.156.424.049
5	Pembuangan Tanah	m ³	66617,39	Rp46.725	Rp5.112.697.446
7	Pemasangan Pipa	m	17703,69	Rp262.744	Rp4.024.096.785
8	Pasir Paving	m ³	1008,11	Rp260.770	Rp362.885.367
9	Pemasangan Aspal	m ³	29683,52	Rp97.950	Rp3.677.317.892
Jumlah					Rp43.716.058.618

9.4 BOQ dan RAB IPALDT

BOQ IPAL terdiri dari Bak Ekualisasil, *Barscreen*, Bak Pengendap I, Unit Tangki Aerasi, Bak Pengendap II, Unit Disinfeksi, Thickener, dan SDB.

Tabel 9. 11 HSPK IPAL

No.	Uraian Kegiatan	Koef.	Satuan	Harga Satuan	Harga
1	Penggalian Tanah Biasa Untuk Konstruksi (m ³)				
	Upah				
	Mandor	0,025	OH	Rp163.000	Rp4.075
	Tenaga Kasar	0,75	OH	Rp115.000	Rp86.250
	Jumlah				Rp90.325
	Nilai HSPK				Rp90.325
2	Pekerjaan Beton Bertulang 150 kg besi + bekisting (m ³)				
	Upah				
	Mandor	0,265	OH	Rp163.000	Rp43.195
	Kepala Tukang	0,262	OH	Rp153.000	Rp40.086
	Tukang	1,3	OH	Rp126.000	Rp163.800

No.	Uraian Kegiatan	Koef.	Satuan	Harga Satuan	Harga
	Tukang	0,275	OH	Rp126.000	Rp34.650
	Tukang	1,05	OH	Rp126.000	Rp132.300
	Pembantu Tukang	5,3	OH	Rp115.000	Rp609.500
	Jumlah				Rp1.023.531
	Bahan:				
	Semen PC 40 kg	8,4	Zak	Rp61.300	Rp514.920
	Pasir Cor	0,54	m ³	Rp260.000	Rp140.400
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0,81	m ³	Rp395.200	Rp320.112
	Besi Beton Polos	157,5	kg	Rp13.000	Rp2.047.500
	Paku Usuk	1,5	kg	Rp15.600	Rp23.400
	Kawat Beton	2,25	kg	Rp26.500	Rp59.625
	Kayu Meranti Bekisting	0,2	m ³	Rp3.484.400	Rp696.880
	Minyak Bekisting	0,4	liter	Rp30.100	Rp12.040
	Jumlah				Rp3.814.877
	Nilai HSPK				Rp4.838.408
3	Pemasangan Batu Kali Kosongan Tebal 20 cm				
	Upah:				
	Mandor	0,017	OH	Rp163.000	Rp2.771
	Kepala Tukang	0,015	OH	Rp153.000	Rp2.295
	Tukang	0,15	OH	Rp126.000	Rp18.900
	Pembantu Tukang	0,35	OH	Rp115.000	Rp40.250
	Jumlah				Rp64.216
	Bahan:				
	Batu Kali Belah 15/20 cm	1,2	m ³	Rp466.000	Rp559.200

No.	Uraian Kegiatan	Koef.	Satuan	Harga Satuan	Harga
	Jumlah:				Rp559.200
	Nilai HSPK				Rp623.416
4	Pengangkutan Tanah dari Lubang Galian Dalamnya Lebih Dari 1 m				
	Upah:				
	Mandor	0,0075	OH	Rp163.000	Rp1.223
	Pembantu Tukang	0,15	OH	Rp115.000	Rp17.250
	Jumlah				Rp18.473
	Nilai HSPK				Rp18.473
5	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek (m ³)				
	Upah:				
	Pembantu Tukang	0,25	OH	Rp115.000	Rp28.750
	Jumlah				Rp28.750
	Sewa Peralatan				
	Sewa Dump Truk 5 Ton	0,25	Jam	Rp71.900	Rp17.975
	Jumlah				Rp17.975
	Nilai HSPK				Rp46.725
6	Pekerjaan Beton K-225				
	Upah				
	Mandor	0,083	OH	Rp163.000	Rp13.529
	Kepala Tukang	0,028	OH	Rp153.000	Rp4.284
	Tukang	0,275	OH	Rp126.000	Rp34.650
	Pembantu Tukang	1,65	OH	Rp115.000	Rp189.750
	Jumlah				Rp242.213

No.	Uraian Kegiatan	Koef.	Satuan	Harga Satuan	Harga
	Bahan:				
	Semen PC 40 kg	9,275	Zak	Rp61.300	Rp568.558
	Pasir Cor	0,4363	m ³	Rp260.000	Rp113.438
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0,5511	m ³	Rp395.200	Rp217.795
	Biaya Air	215	liter	Rp6	Rp1.290
	Jumlah				Rp901.080
	Nilai HSPK				Rp1.143.293
7	Pengurangan Pasir (PADAT)				
	Upah:				
	Mandor	0,01	Orang Hari	Rp163.000	Rp1.630
	Pembantu Tukang	0,3	Orang Hari	Rp115.000	Rp34.500
	Jumlah				
	Bahan:				
	Pasir Urug	1,2	m ³	Rp187.200	Rp224.640
	Jumlah				Rp224.640
	Nilai HSPK				Rp259.140
8	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)				
	Upah				
	Mandor	0,0004	Orang Hari	Rp163.000	Rp65
	Kepala Tukang	0,0007	Orang Hari	Rp153.000	Rp107
	Tukang	0,007	Orang Hari	Rp126.000	Rp882
	Pembantu Tukang	0,007	Orang Hari	Rp115.000	Rp805

No.	Uraian Kegiatan	Koef.	Satuan	Harga Satuan	Harga
	Jumlah				Rp1.859
	Bahan:				
	Besi Beton Polos	1,05	Zak	Rp13.000	Rp13.650
	Kawat Beton	0,015	m ³	Rp26.500	Rp398
	Jumlah				Rp14.048
	Nilai HSPK				Rp15.907
9	Pekerjaan Bekisting Sloof				
	Upah				
	Mandor	0,026	Orang Hari	Rp163.000	Rp4.238
	Kepala Tukang	0,026	Orang Hari	Rp153.000	Rp3.978
	Tukang	0,26	Orang Hari	Rp126.000	Rp32.760
	Pembantu Tukang	0,52	Orang Hari	Rp115.000	Rp59.800
	Jumlah				Rp100.776
	Bahan:				
	Paku Usuk	0,3	Kg	Rp15.600	Rp4.680
	Kayu Meranti Bekisting	0,045	m ³	Rp3.484.400	Rp156.798
	Minyak Bekisting	0,1	Liter	Rp30.100	Rp3.010
	Jumlah				Rp164.488
	Nilai HSPK				Rp265.264

9.4.1 Bak Ekualisasi

Dimensi

H dari muka tanah ke muka sumur pengumpul = 5,5 m

(Bangunan digali tepat dimuka tanah)

Tebal plat dasar = 25 cm

Lebar Sepatu lantai = 25 cm

Tebal lantai kerja = 5 cm

Tebal pasir = 10 cm

Penggalian tanah biasa untuk konstruksi

= $P \times L \times h$

= (panjang SP + sepatu lantai) x (lebar SP + sepatu lantai) x
(tebal tutup + Kedalaman dari muka tanah ke muka sumur
pengumpul + tinggi SP + freeboard + tebal plat dasar + tebal
lantai kerja + tebal pasir)

= $(170+25+25) \times (170 + 25 +25) \times (550+25+25+25+5+10)$

= 1445 m^3

Pengurugan pasir dengan pemadatan

= $P \times L \times \text{tebal pasir}$

= (panjang + sepatu lantai) x (lebar + sepatu lantai) x (tebal
pasir)

= $(170+25+25) \times (170+25+25) \times 10 = 28,6 \text{ m}^3$

Pekerjaan beton K-225

beton lantai bangunan

= (panjang + sepatu lantai) x (lebar + sepatu lantai) x (tebal
lantai kerja + tebal plat dasar) – ruang pompa

= $(170+25+25) \times (170+25+25) \times (5 + 25) - (300 \times 50 \times 25)$

= $8,6 \text{ m}^3$

Beton dinding bangunan

= [(panjang x 2) + (lebar x 2)] x tebal dinding x tinggi

= $[(170 \times 2) + (170 \times 2)] \times 25 \times 550$

= $34,4 \text{ m}^3$

Total volume beton bangunan

= beton lantai + beton dinding

= $8,6 + 34,4$

= 43 m^3

Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos) Volume pembesian didasarkan pada perhitungan volume dinding bangunan yaitu $34,4 \text{ m}^3$. Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat 110 kg/ m^3 , sehingga diperoleh berat besi sebagai berikut.

= volume pembesian x berat besi

= 34×110

= 1144 Kg

Pekerjaan Bekisting Sloof

= [(panjang x 2) + (lebar x 2)] x kedalaman

= [(170 x 2) + (170 x 2)] x 550

= $8,5 \text{ m}^3$

Pekerjaan pompa

Pompa yang digunakan sebanyak 2 buah pada sumur pengumpul sebelum masuk menuju. Pekerjaan pipa Jumlah pipa yang dibutuhkan sepanjang 10 meter untuk 2 buah saluran. Panjang pipa per batang yaitu 4 meter, maka dibutuhkan sebanyak 4 buah pipa. Pipa yang digunakan dengan diameter 30 cm.

Tabel 9. 12 RAB Bak Ekualisasi

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Qty	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Penggalan tanah biasa untuk konstruksi	m^3	1445	Rp90.325	Rp124.842.818
2	Pengurugan pasir dengan pemadatan	m^3	28,6	Rp259.140	Rp4.414.624
3	Pekerjaan Beton K-225	m^3	43	Rp242.213	Rp8.069.178
4	Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos)	m^3	1144	Rp15.907	Rp18.197.379
5	Pekerjaan bekisting sloof	m	8,5	Rp265.264	Rp1.693.643
7	Pengadaan pompa	buah	2,00	Rp25.000.000	Rp20.000.000
Jumlah					Rp175.294.105

9.4.2 Barscreen

$$\begin{aligned} V_{\text{galian saluran pembawa}} &= (P + 2 \times tb) \times (L + 2 \times tb) \times ((H) + tb) \\ &= (5 + 2 \times 0,2) \times (0,5 + 2 \times 0,2) \times (0,55 + 0,2) \\ &= 21,87 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{saluran pembawa tanpa beton}} &= P \times L \times H \\ &= 5 \times 0,5 \times 0,55 \\ &= 1,375 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{beton saluran pembawa}} &= V_{\text{galian saluran pembawa total}} - V_{\text{galian tanpa beton}} \\ &= 21,87 \text{ m}^3 - 1,375 \text{ m}^3 \\ &= 20,49 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 9. 13 RAB Barscreen

No.	Uraian	Qty	Satuan	Harga Satuan	Harga
Barscreen					
1	Volume beton	20,49	m ³	Rp242.213	Rp4.962.944
2	Volume galian	21,87	m ³	Rp90.325	Rp1.975.408
3	Besi screen	1	set	Rp1.000.000	Rp1.000.000
Jumlah					Rp7.938.352

9.4.3 Bak Pengendap I

Direncanakan:

Jumlah unit BP I	= 2 unit
Panjang total BP I (L)	= 13,5 m (tanpa tebal beton)
Lebar total BP I (W)	= 4.5 m (tanpa tebal beton)
Kedalaman zona pengendapan (H)	= 3,3 m (dari muka tanah)
Kedalaman zona lumpur	= 2 m
Panjang atas zona lumpur (L')	= 8 m
Lebar atas zona lumpur (W')	= 8 m
Panjang bawah zona lumpur (L'')	= 5 m
Lebar bawah zona lumpur (W'')	= 5 m
Tinggi <i>perforated baffle</i>	= 3,3 m
Lebar <i>perforated baffle</i>	= 8 m
Tebal beton (tb)	= 0,2 m

Perhitungan:

Menentukan volume galian tanah pada zona pengendapan dan lumpur

$$V_{\text{galian zona pengendapan}} = (P + 2 \times tb) \times (L + 2 \times tb) \times (H + tb) \\ = 326 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{galian zona lumpur}} = 1/3 \times (H + 0,2) \times ((L' + 0,4) \times (W' + 0,4)) + \\ ((L'' + 0,4) \times (W'' + 0,4)) + (\sqrt{A'} \times A'') \\ = 106 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{galian saluran pembawa}} = (P + 2 \times tb) \times (L + 2 \times tb) \times ((H) + tb) \\ = 4,86 \text{ m}^3$$

Menentukan volume kebutuhan beton

$$V_{\text{galian zona pengendap tanpa beton}} = P \times L \times H \\ = 13,5 \times 4,5 \times 3,3 \\ = 183,6 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{beton zona pengendap}} = V_{\text{galian total}} - V_{\text{galian tanpa beton}} \\ = 456 \text{ m}^3 - 183,6 \text{ m}^3 \\ = 145,2 \text{ m}^3/\text{unit}$$

$$V_{\text{beton baffle}} = (100\% - 60\%) \times P \times H \times tb \\ = 40\% \times 13,5 \times 3,3 \times 0,2 \\ = 3,3 \text{ m}^3/\text{unit}$$

$$V_{\text{galian zona lumpur tanpa beton}} = 1/3 \times (H) \times ((L' \times W') + (L'' \times W'')) \\ + (\sqrt{A'} \times A'') \\ = 46 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{beton zona lumpur}} = V_{\text{galian zona lumpur total}} - V_{\text{galian tanpa beton}} \\ = 10 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{saluran pembawa tanpa beton}} = P \times L \times H \\ = 5 \times 0,5 \times 0,8 \\ = 2 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{beton saluran pembawa}} = V_{\text{galian saluran pembawa total}} - V_{\text{galian tanpa beton}} \\ = 4,86 \text{ m}^3 - 2 \text{ m}^3 \\ = 2,86 \text{ m}^3$$

Tabel 9. 14 RAB Bak Pengendap 1

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Qty	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m ³	1242	Rp90.325	Rp114.842.818
2	Pengurugan pasir dengan pemadatan	m ³	325	Rp259.140	Rp4.114.624

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Qty	Harga Satuan	Jumlah Harga
3	Pekerjaan Beton K-225	m ³	43	Rp242.213	Rp1.323.069.178
4	Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos)	m ³	1324	Rp15.907	Rp23.197.379
5	Pekerjaan bekisting sloof	m	8,5	Rp265.264	Rp1.693.643
7	Baffle	buah	2,00	Rp4.000.000	Rp8.000.000
Jumlah					Rp1.475.294.105

9.4.4 Unit Tangki Aerasi

Direncanakan:

Jumlah unit = 2 unit

Panjang (L') = 10 m

Lebar (W') = 5 m

Tabel 9. 15 RAB Tangki Aerasi

No.	Uraian	Qty	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
Unit Tangki Aerasi					
1	Penggalian	661	m ³	Rp90.325	Rp238.819.300
2	Beton	357	m ³	Rp623.416	Rp890.238.048
3	Besi	1236	m ³	Rp15.416	Rp17.000.000
4	Blower	3	buah	Rp15.000.000	Rp45.000.000
5	Pipa resirkulasi Ø 150 mm	100	m	Rp262.744	Rp26.274.380
6	Aksesoris pipa	6	set	Rp450.000	Rp2.700.000
Saluran inlet outlet					
2	Pipa Ø 150 mm	20	m	Rp262.744	Rp4.274.380
Saluran outlet					
Jumlah					Rp1.340.750.556

9.4.5 Bak Pengendap II

Direncanakan:

Jumlah unit *clarifier* = 2 buah
 Diameter *clarifier* = 11 meter
 Kedalaman *clarifier* = 3,1 meter
 Tebal beton = 0,2 meter

Tabel 9. 16 RAB Bak Pengendap II

No.	Uraian	Qty	Satuan	Harga Satuan	Harga
Bak Pengendap II					
1	Volume beton	168,8	m ³	Rp4.838.408	Rp816.723.270
2	Volume galian	273,7	m ³	Rp90.325	Rp24.721.953
3	Jembatan kontrol dan <i>scraper</i>	2	buah	Rp15.000.000	Rp30.000.000
Outlet					
1	<i>Gate valve</i>	2	buah	Rp1.000.000	Rp4.000.000
2	<i>Elbow 90°</i>	2	buah	Rp500.000	Rp2.000.000
3	Pipa galvanis ø 200 mm / 4 m	10	m	Rp262.744	Rp2.627.438
4	Pompa Lumpur	2	buah	Rp5.000.000	Rp10.000.000
5	Pipa penguras lumpur ø 200 mm / 4 m	10	m	Rp262.744	Rp2.627.438
Jumlah					Rp932.700.099

9.4.6 Thickener

Direncanakan:

Jumlah unit = 2 buah

Diameter = 13 meter

Kedalaman = 3,5 meter

Tebal beton = 0,2 meter

Tabel 9. 17 RAB Thickener

No.	Uraian	Qty	Satuan	Harga Satuan	Harga
Bak Pengendap II					
1	Volume beton	178,8	m ³	Rp4.838.408	Rp916.723.270
2	Volume galian	285,7	m ³	Rp90.325	Rp44.721.953
3	Jembatan kontrol dan <i>scraper</i>	2	buah	Rp15.000.000	Rp30.000.000
Outlet					
1	<i>Gate valve</i>	2	buah	Rp1.000.000	Rp2.000.000
2	<i>Elbow 90°</i>	2	buah	Rp500.000	Rp1.000.000
3	Pipa galvanis ø 200 mm / 4 m	10	m	Rp262.744	Rp2.627.438
4	Pompa Lumpur	2	buah	Rp5.000.000	Rp20.000.000
5	Pipa penguras lumpur ø 200 mm / 4 m	10	m	Rp262.744	Rp2.627.438
Jumlah					Rp1.053.700.099

9.4.7 SDB

Direncanakan:

Jumlah unit = 2 buah
Panjang = 30 meter
Lebar = 10 meter
Kedalaman = 32 meter
Tebal beton = 0,2 meter

Tabel 9. 18 RAB SDB

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Qty	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m ³	2532	Rp90.325	Rp487.842.818
2	Pengurugan pasir dengan pemadatan	m ³	1325	Rp259.140	Rp40.114.624
3	Pekerjaan Beton K-225	m ³	123	Rp242.213	Rp2.323.069.178
4	Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos)	m ³	2024	Rp15.907	Rp45.197.379
5	Pekerjaan bekisting sloof	m	21	Rp265.264	Rp21.693.643
Jumlah					Rp2.975.294.105

9.4.8 Unit Disinfeksi

Direncanakan:

Jumlah unit = 2 buah
Diameter = 1,5 meter
Kedalaman = 1,3 meter
Tebal beton = 0,2 meter

Tabel 9. 19 RAB Barscreen

No.	Uraian	Qty	Satuan	Harga Satuan	Harga
Barscreen					
1	Volume beton	1,49	m ³	Rp242.213	Rp362.944
2	Dosing Pump	2	set	Rp1.000.000	Rp2.000.000
Jumlah					Rp2.362.944

RAB IPALDT

Rencana anggaran biaya untuk kebutuhan unit IPAL disesuaikan dengan HSPK Kota Probolinggo 2017 disajikan pada Tabel 9.20

Tabel 9. 20 RAB Unit IPALDT Total

No	Uraian	Harga
1	Bak Ekualisasi	Rp175.294.105
2	Barscreen	Rp7.938.352
3	Bak Pengendap I	Rp1.475.294.105
4	Tangki Aerasi	Rp1.340.750.556
5	Bak Pengendap II	Rp932.700.099
6	Thickener	Rp1.053.700.099
7	SDB	Rp2.975.294.105
8	Unit Disinfeksi	Rp2.362.944
Jumlah		Rp7.432.762.316

9.5 BOQ dan RAB IPALDS

9.5.1 Bak Pengumpul

Dimensi

H dari muka tanah ke muka sumur pengumpul = 4,27 cm
(Bangunan digali tepat dimuka tanah)

P=L = 3 m

Tabel 9. 21 RAB Bak Pengumpul

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Qty	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m ³	45	Rp90.325	Rp4.542.818
2	Pengurugan pasir dengan pemadatan	m ³	0,9	Rp259.140	Rp214.624
3	Pekerjaan Beton K-225	m ³	14	Rp242.213	Rp3.069.178
4	Barscreen	unit	1	Rp534.000	Rp534.000
5	Pengadaan pompa	buah	1,00	Rp2.000.000	Rp2.000.000
Jumlah					Rp10.294.105

9.5.2 Digester

Dimensi

H dari muka tanah ke muka sumur pengumpul = 4,5 m
(Bangunan digali tepat dimuka tanah)

Diameter = 6,3 m

Tabel 9. 22 RAB Digester

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Qty	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m ³	83	Rp90.325	Rp7.542.818
2	Pengurugan pasir dengan pemadatan	m ³	2,8	Rp259.140	Rp614.624
3	Fiberglass	m ³	6	Rp90.242.213	Rp493.069.178
Jumlah					Rp502.214.450

9.5.3 Modifikasi Anaerobik 2 menjadi Tangki Aerasi

Direncanakan:

Jumlah unit = 1 unit

Panjang total = 4 m

Lebar total = 4 m

Kedalaman zona pengendapan (H) = 6 m

Tabel 9. 23 Modifikasi Anaerobik 2 menjadi Tangki Aerasi

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Qty	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Pengurugan tanah dengan pemadatan	m ³	27	Rp259.140	Rp614.624
2	Blower	m ³	2	Rp2.000.000	Rp4.000.000
3	Pompa Lumpur	m ³	1	Rp2.500.000	Rp1.000.000
Jumlah					Rp5.614.624

9.5.4 Unit Disinfeksi

Direncanakan:

Jumlah unit = 1 buah

Bak 500 L

Tabel 9. 24 RAB Unit Disinfeksi

No.	Uraian	Qty	Satuan	Harga Satuan	Harga
1	Bak 500 L	1	buah	Rp750.000	Rp750.000
2	Dosing Pump	1	set	Rp100.000	Rp100.000
Jumlah					Rp850.000

RAB IPALDT

Rencana anggaran biaya untuk kebutuhan unit IPAL disesuaikan dengan HSPK Kota Probolinggo 2017 disajikan pada Tabel 9.25

Tabel 9. 25 RAB Unit IPALDT Total

No	Uraian	Harga
1	Bak Pengumpul	Rp10.294.105
2	Digester	Rp502.214.450
3	Modifikasi AF 2	Rp5.614.624
4	Unit Disinfeksi	Rp850.000
Jumlah		Rp 517.762.119

9.6 Total RAB SPAL dan IPAL

Perhitungan diatas kemudian ditotalkan biaya pembanguna SPAL, bangunan pelengkap, dan IPAL disajikan pada Tabel 9.26 dan Tabel 9.27 .

Tabel 9. 26 Total RAB SPALT dan IPALDT

No	Uraian	Harga
1	SPAL	Rp 42.535.058.618
2	Bangunan Pelengkap	Rp34.103.483.068
3	IPAL	Rp7.432.762.316
Jumlah		Rp84.171.304.002

Tabel 9. 27 Total RAB SPALS dan IPALDS

No	Uraian	Harga
1	SPAL	Rp 1.125.873.474
2	Bangunan Pelengkap	Rp241.712.062
3	IPAL	Rp 517.762.119
Jumlah		Rp1.885.347.655

BAB 10

ANALISIS EKONOMI

Kajian kelayakan ekonomi dilaksanakan untuk mendapatkan gambaran proyeksi laporan ekonomi ke depan untuk menentukan nilai ekonomi suatu kegiatan di masa yang akan datang. Pengkajian kelayakan ekonomi meliputi penyusunan laporan keuangan dengan menganalisis proyek laporan ekonomi terhadap kriteria kelayakan ekonomi. Analisis ekonomi yang digunakan adalah kelayakan dari *Benefit Cost Ratio* (BCR) pembangunan SPALDT dan SPALDS.

10.1 Nilai Cost SPALD

Nilai *cost* diperoleh dari biaya investasi pembangunan, operasional dan pemeliharaan SPAL maupun IPAL. Biaya investasi pembangunan SPALDT adalah Rp 84.171.304.002 dan biaya investasi SPALDS adalah Rp1.885.347.655. Proses operasi SPALD direncanakan selama 20 tahun sehingga biaya investasi SPALDT dan SPALDS per tahunnya adalah Rp 4.208.565.200 dan Rp 94.267.382. Perkiraan rincian kegiatan operasional dan perawatan dapat dilihat pada Tabel 10.1 dan Tabel 10.2.

Tabel 10. 1 Rincian Pengeluaran Kegiatan Operasional SPALDT

No.	Rincian Pengeluaran	Biaya/bulan	Biaya Per Tahun
1	Penggelontoran SPAL	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000
2	Pemeriksaan sampel	Rp 5.000.000	Rp 60.000.000
3	Kebutuhan Listrik	Rp 20.000.000	Rp 240.000.000
4	Gaji Karyawan	Rp 50.000.000	Rp 600.000.000
5	Perawatan IPAL	Rp 3.000.000	Rp 36.000.000
6	Pengurasan Lumpur	Rp 2.000.000	Rp 24.000.000
7	Bahan Kimia	Rp 45.000.000	Rp 540.000.000
8	Lain-Lain	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000
9	Biaya Investasi	-	Rp 4.208.565.200
Total		Rp 145.000.000	Rp 5.948. 565.200

Tabel 10. 2 Rincian Pengeluaran Kegiatan Operasional SPALDS

No.	Rincian Pengeluaran	Biaya/bulan	Biaya Per Tahun
1	Penggelontoran SPAL	Rp 100.000	Rp 1.200.000
2	Pemeriksaan sampel	Rp 750.000	Rp 9.000.000
3	Kebutuhan Listrik	Rp 1.500.000	Rp 18.000.000
4	Gaji Operator	Rp 1.000.000	Rp 12.000.000
5	Pengurusan Lumpur 2 Tahun	Rp 100.000	Rp 1.200.000
6	Bahan Kimia	Rp 1.250.000	Rp 15.000.000
7	Biaya Investasi	-	Rp 94.267.382
Total		Rp 4.700.000	Rp 150.667.382

10.2 Nilai *Benefit* SPALD

Nilai *benefit* diperoleh dari biaya retribusi masyarakat, hasil pemanfaatan produk yang dihasilkan IPAL, dan nilai manfaat lain yang timbul akibat penyelenggaraan SPALD. Besarnya biaya retribusi ditentukan melalui pembagian total biaya operasional dengan jumlah pelanggan. Manfaat yang timbul pada penyelenggaraan SPALD akan dikonversikan menjadi mata uang sehingga dapat dilakukan perbandingan dengan nilai *cost* yang dibutuhkan dalam pembangunan dan pengoperasian SPALD. Manfaat yang timbul antara lain peningkatan kualitas lingkungan, peningkatan kesehatan masyarakat, meningkatkan potensi wisatawan, mengurangi biaya subsidi pemerintah dalam hal kebersihan, dan manfaat lainnya.

a. Nilai *Benefit* SPALDT

• Biaya *Retribusi*

Biaya retribusi adalah biaya yang dikeluarkan masyarakat tiap sambungan rumah guna menunjang operasi dan perawatan SPAL dan IPAL. Berdasarkan hasil survei masyarakat kecamatan Mayangan, besarnya biaya retribusi yang mampu dijangkau masyarakat adalah Rp 5.000 – Rp 15.000 setiap bulan. Jumlah sambungan rumah yang dilayani SPALDT sebanyak 10060 SR. Biaya retribusi ditentukan Rp 10.000 sehingga pemasukan dari retribusi selama satu tahun adalah

$$\begin{aligned}\text{Pemasukan} &= \text{Rp } 10.000 \times 10060 \text{ SR} \times 12 \text{ bulan} \\ &= \text{Rp } 1.207.200.000\end{aligned}$$

• **Peningkatan kesehatan masyarakat**

Kesehatan masyarakat di Kecamatan Mayangan akan mengalami peningkatan seiring pengoperasian SPALDT. Saluran drainase tidak lagi tercampur dengan air limbah domestik sehingga kondisi lingkungan yang sehat menyebabkan kesehatan masyarakat bertambah baik. Jika asumsikan masyarakat harus mengeluarkan biaya kesehatan Rp 50.000 per tahun untuk mengobati penyakit yang timbul akibat sarana sanitasi yang tidak sehat, maka dengan pengoperasian SPALD dapat membantu masyarakat berhemat biaya kesehatan setiap tahunnya. Jumlah masyarakat mayangan yang mendapat pelayanan SPALDT adalah 40238 jiwa. Nilai manfaat berupa peningkatan kesehatan masyarakat kecamatan Mayangan yang timbul setiap tahunnya adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Nilai rupiah} &= \text{Biaya kesehatan masyarakat} \times \text{Jumlah penduduk} \\ &= \text{Rp } 50.000/\text{orang.tahun} \times 40238 \text{ jiwa} \\ &= \text{Rp } 2.011.900.000\end{aligned}$$

• **Peningkatan kualitas lingkungan**

Penurunan kualitas lingkungan khususnya badan air diakibatkan pembuangan air limbah domestik secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu. Jumlah air limbah domestik yang dibuang setiap harinya di kecamatan Mayangan adalah 4665 m³/hari. Air limbah yang belum diolah tidak dapat digunakan kembali bahkan akan mencemari lingkungan. Sebanyak 4665 m³ air limbah yang dikelola dengan IPAL akan meningkatkan kualitas air tersebut sehingga dapat digunakan kembali dan meningkatkan kualitas lingkungan. Harga air per 1 m³ adalah Rp 1000. Maka dengan melakukan pengolahan air limbah domestik di kecamatan Mayangan dapat meningkatkan nilai manfaat dari lingkungan khususnya badan air.

$$\begin{aligned}\text{Nilai rupiah} &= \text{Harga air} \times \text{Debit air} \times 365 \text{ hari} \\ &= \text{Rp } 1.000/\text{m}^3 \times 4665 \text{ m}^3/\text{hari} \times 365 \text{ hari} \\ &= \text{Rp } 1.702.725.000\end{aligned}$$

- **Peningkatan potensi wisata**

Kecamatan mayangan yang berada di pesisir pantai utara Jawa dan pusat kota Probolinggo memberikan dampak positif berupa tempat tujuan para wisatawan. Peningkatan kualitas lingkungan dengan kondisi sungai yang bersih dan saluran drainase tidak berbau menyebabkan kecamatan Mayangan lebih nyaman untuk disinggahi dan ditinggali. Pembangunan dan pengoperasian SPALDT kecamatan Mayangan akan memberikan manfaat berupa peningkatan jumlah wisatawan yang berkunjung ke kecamatan Mayangan. Peningkatan jumlah wisatawan yang berkunjung ke kecamatan Mayangan diperkirakan 10000 orang per bulannya. Tiap wisatawan dikonversikan sebesar Rp 10.000 sebagai nilai manfaat yang timbul. Nilai manfaat berupa peningkatan jumlah wisatawan adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Nilai rupiah} &= \text{Jumlah Wisatawan} \times \text{Nilai} \times 12 \text{ bulan} \\ &= 10000 \text{ orang/bulan} \times \text{Rp } 10.000 \times 12 \text{ bulan} \\ &= \text{Rp } 1.200.000.000\end{aligned}$$

- **Penurunan subsidi biaya kebersihan oleh Pemerintah**

Pembersihan saluran drainase dan badan air akibat sampah dan bau menyengat dari air limbah rutin dilakukan oleh pemerintah. Pemisahan saluran drainase dan air limbah domestik di kecamatan Mayangan akan mengurangi kerja pemerintah dalam kebersihan saluran drainase dan badan air. Pembersihan tersebut diperkirakan membutuhkan biaya sebesar Rp 100.000.000 per bulannya. Pembangunan dan pengoperasian SPALDT kecamatan Mayangan diperkirakan akan menghemat biaya kebersihan sebesar Rp 60.000.000. Nilai manfaat berupa penurunan subsidi biaya kebersihan oleh Pemerintah adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Nilai rupiah} &= \text{Jumlah Penghematan} \times 12 \text{ bulan} \\ &= \text{Rp } 60.000.000 \times 12 \text{ bulan} \\ &= \text{Rp } 720.000.000\end{aligned}$$

Nilai *benefit* total yang diperoleh dari pembangunan dan pengoperasian SPALDT kecamatan Mayangan jika dirupiahkan adalah Rp 6.841.825.000.

b. Nilai Benefit SPALDS

• Biaya Retribusi

Biaya retribusi adalah biaya yang dikeluarkan masyarakat tiap sambungan rumah guna menunjang operasi dan perawatan SPAL dan IPAL. Berdasarkan hasil survei masyarakat sekitar pabrik tahu Asri bersedia membayar retribusi sebesar Rp 30.000/bulan untuk penyaluran biogas dan SPAL. Jumlah sambungan rumah yang dilayani SPALDS sebanyak 67 SR. Pemasukan dari retribusi masyarakat selama satu tahun adalah

$$\begin{aligned}\text{Pemasukan} &= \text{Rp } 30.000 \times 67 \text{ SR} \times 12 \text{ bulan} \\ &= \text{Rp } 24.120.000\end{aligned}$$

Selain retribusi yang dibebankan kepada masyarakat, pemilik industri tahu juga dikenakan biaya pengolahan air limbah tahu. Setiap air limbah tahu per 1 m³ dikenakan biaya retribusi Rp 5000. Pemasukan dari retribusi yang dikeluarkan pemilik industri tahu selama satu tahun adalah

$$\begin{aligned}\text{Pemasukan} &= \text{Rp } 5.000 \times 25 \text{ m}^3/\text{hari} \times 365 \text{ hari} \\ &= \text{Rp } 45.625.000\end{aligned}$$

• Peningkatan kesehatan masyarakat

Kesehatan masyarakat di sekitar pabrik tahu Asri akan mengalami peningkatan seiring pengoperasian SPALDS. Saluran drainase tidak lagi tercampur dengan air limbah domestik sehingga kondisi lingkungan yang sehat menyebabkan kesehatan masyarakat bertambah baik. Jika asumsikan masyarakat harus mengeluarkan biaya kesehatan Rp 50.000 per tahun untuk mengobati penyakit yang timbul akibat sarana sanitasi yang tidak sehat, maka dengan pengoperasian SPALDS dapat membantu masyarakat berhemat biaya kesehatan setiap tahunnya. Jumlah masyarakat yang mendapat pelayanan SPALDS adalah 40238 jiwa. Nilai manfaat berupa peningkatan kesehatan masyarakat yang timbul setiap tahunnya adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Nilai rupiah} &= \text{Biaya kesehatan masyarakat} \times \text{Jumlah penduduk} \\ &= \text{Rp } 50.000/\text{orang.tahun} \times 268 \text{ jiwa} \\ &= \text{Rp } 13.400.000\end{aligned}$$

- **Peningkatan kualitas lingkungan**

Penurunan kualitas lingkungan khususnya badan air diakibatkan pembuangan air limbah domestik secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu. Jumlah air limbah domestik dan air limbah tahu yang dibuang setiap harinya adalah 86,4 m³/hari. Air limbah yang belum diolah tidak dapat digunakan kembali bahkan akan mencemari lingkungan. Sebanyak 86,4 m³ air limbah yang dikelola dengan IPAL akan meningkatkan kualitas air tersebut sehingga dapat digunakan kembali dan meningkatkan kualitas lingkungan. Harga air per 1 m³ adalah Rp 1000. Maka dengan melakukan pengolahan air limbah domestik dan air limbah tahu dapat meningkatkan nilai manfaat dari lingkungan khususnya badan air.

Nilai rupiah = Harga air x Debit air x 365 hari

$$= \text{Rp } 1.000/\text{m}^3 \times 86,4 \text{ m}^3/\text{hari} \times 365 \text{ hari}$$

$$= \text{Rp } 31.536.000$$

- **Penghematan biaya bahan bakar memasak**

Setiap bulannya masyarakat di sekitar pabrik tahu Asri menghabiskan 4 tabung LPG 3 kg tiap bulannya untuk kebutuhan memasak. Harga tabung LPG 3kg adalah Rp 17.000 sehingga setiap bulannya masyarakat harus mengeluarkan biaya Rp 68.000/KK. Penggunaan biogas dari pabrik tahu Asri yang dikenakan biaya Rp 30.000/ bulan mampu menghemat pengeluaran masyarakat untuk kebutuhan bahan bakar memasak sebesar Rp 38.000. Nilai manfaat berupa penghematan biaya bahan bakar memasak yang timbul setiap tahunnya adalah sebagai berikut

$$\text{Pemasukan} = \text{Rp } 38.000 \times 67 \text{ SR} \times 12 \text{ bulan}$$

$$= \text{Rp } 30.552.000$$

- **Penghematan pengurasan septitank**

Pengurasan septitank harus dilakukan 2 tahun sekali oleh masing-masing rumah. Biaya yang harus dikeluarkan untuk sekali pengurasan septitank domestik adalah Rp 500.000. Pengelolaan air limbah domestik secara komunal mengakibatkan masyarakat tidak perlu lagi melakukan pengurasan septitank secara individu. Setiap tahunnya masyarakat dapat berhemat sebesar Rp 250.000.

Penghematan masyarakat yang diperoleh dari pengurusan septitank adalah

$$\begin{aligned}\text{Penghematan} &= \text{Rp } 250.000 \times 67 \text{ SR} \\ &= \text{Rp } 16.750.000\end{aligned}$$

- **Pengurangan gas rumah kaca**

Air limbah tahu pabrik tahu Asri berpotensi menghasilkan gas rumah kaca seperti gas metan (CH_4). Penggunaan Anaerobik Digester pada pengolahan air limbah pabrik tahu Asri menghasilkan Gas metan sebesar $38 \text{ m}^3/\text{hari}$. Diasumsikan biaya kerugian yang timbul efek rumah kaca dari gas metan adalah $\text{Rp } 2000/\text{m}^3$. Maka dengan melakukan pemanfaatan gas metan sebagai bahan bakar alternatif dapat meningkatkan nilai manfaat dari lingkungan khususnya udara.

$$\begin{aligned}\text{Nilai rupiah} &= \text{Biaya kerugian} \times \text{Debit} \times 365 \text{ hari} \\ &= \text{Rp } 2.000/\text{m}^3 \times 38 \text{ m}^3/\text{hari} \times 365 \text{ hari} \\ &= \text{Rp } 27.740.000\end{aligned}$$

Nilai *benefit* total yang diperoleh dari pembangunan dan pengoperasian SPALDS pabrik tahu Asri serta pemanfaatan biogasnya jika dirupiahkan adalah $\text{Rp } 189.723.000$.

BCR SPALDT = Total Benefit /Total Cost

$$\begin{aligned}&= \text{Rp } 6.841.825.000 / \text{Rp } 5.948.565.200 \\ &= 1,15\end{aligned}$$

BCR SPALDS = Total Benefit /Total Cost

$$\begin{aligned}&= \text{Rp } 189.723.000 / \text{Rp } 150.667.382 \\ &= 1,26\end{aligned}$$

Nilai BCR pada SPALDT dan SPALDS menunjukan nilai >1 , maka proyek sanitasi SPALDT dan SPALDS layak secara ekonomi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 11

KESIMPULAN DAN SARAN

11.1 Kesimpulan

Kesimpulan akhir yang dapat diambil dalam perencanaan dengan ini diantaranya.

1. Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik dibedakan menjadi dua sistem yaitu Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALDT) di Kecamatan Mayangan dan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Setempat (SPALDS) di permukiman dekat Pabrik Tahu Asri. Total pelayanan SPALDT adalah 39074 jiwa dan pelayanan SPALDS adalah 294 jiwa atau 67 KK
2. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk SPALDT menggunakan unit bak pengendap sebagai pengolahan fisik dan unit tangki aerasi sebagai pengolahan biologis. Perencanaan IPAL untuk SPALDS menggunakan digester sebagai unit anaerobik, pengolahan fisik menggunakan bak pengendap, dan pengolahan aerobik menggunakan tangki aerasi. Efluen dari masing-masing sudah memenuhi baku mutu limbah domestik.
3. Penyaluran biogas hasil pengolahan air limbah tahu mampu melayani 67 KK. Saluran biogas mengikuti jaringan SPALDS agar memudahkan penanaman. Kemampuan tekanan biogas masih memenuhi untuk distribusi titik terjauh saat pemakaian bersama.
4. Nilai *Benefit Cost Ratio* (BCR) untuk SPALDT Kecamatan Mayangan dan SPALDS di permukiman dekat Pabrik Tahu Asri > 1 sehingga proyek SPALDT dan SPALDS layak secara ekonomi.

10.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan setelah dilakukan perencanaan diantaranya:

1. Pembuatan detail jaringan SPAL yang menjangkau pipa tersier dan Sambungan Rumah
2. Perlu kajian mengenai proses disinfeksi yang efisien karena penggunaan kaporit terlalu mahal.
3. Pengkajian distribusi biogas perlu dikaji lebih lanjut karena belum banyaknya informasi terkait distribusi biogas secara ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aidun, B. 2013. *Standard and Guidelines for Minicipal Waterworks, Wastewater, and Storm Drainage Systems*. Edmonton: Alberta Queen's Printer.
- Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Kota Probolinggo Tahun 2016.
- Doran, M.D. 2008. Phase of A Typical Water/Wastewater Project. Michael Doran Techknowledge, LLC.
- Exton. 2002. *Wastewater Technology Fact Sheet Sewers, Pressure*. Pennsylvania: United States Environmental Protection Agency
- Fair, G. M. dan Geyer, J. C., 1971. *Water Supply and Wastewater Disposal*. New York: John Wiley & Sons.
- Gemardi, A., dan Marbun, T.K. 2017. *Studi Pengelolaan Limbah Cair Pabrik Tahu Di Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Probolinggo*. Laporan Kerja Praktik. Program Sarjana Teknik Lingkungan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Götzenberger, J. 2009. *Praxis-oriented Training Manual Decentralized Wastewater Treatment Systems (DEWATS)*.
- Harihastuti, N., Djayanti, S., Rame. 2016. *Pengaruh Waktu Kontak terhadap Daya Adsorpsi Karbon Aktif pada Pengembangan Teknologi Proses Purifikasi Biogas*. Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri. 7, 2 : 57-66
- Herlambang. 2002. *Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu*. Jakarta: Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan dan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah Samarinda
- Iskandar, S., Fransisca, I., Arianto, E., Ruslan, A. 2016. *Buku 3 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik-Terpusat Skala Permukiman*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kaswinarni, F. 2007. *Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat dan Cair Industri Tahu Studi Kasus Industri Tahu Tandang Semarang, Sederhana Kendal dan Gagal Sipat Boyolali*.

- Tesis. Program Pasca Sarjana Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro, Semarang.
- Komala, P.S. dan Yanarosanti, A. 2014. Inaktivasi Bakteri Escherichia Coli Air Sumur Menggunakan Disinfektan Kaporit. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND* 11 (1) : 34-47
- Metcalf dan Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Edition*. New York: McGraw-Hill Education.
- Metcalf dan Eddy. 2014. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 5th Edition*. New York: McGraw-Hill Education.
- Montes, C., Bohorquez, J., Borda, S., Saldarriaga, J. 2017. "Criteria of Minimum Shear Stress vs. Minimum Velocity for Self-cleaning Sewer Pipes Design". *Procedia Engineering*. WDSA '16.
- Morel, A., Diener, S. 2006. *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of Different Treatment Systems for Households or Neighborhoods*. Duebendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science, Departemen of Water and Sanitation in Developing Countries.
- Nadliriyah, N. dan Triwikantoro. 2013. Pemurnian Produk Biogas dengan Metode Absorpsi Menggunakan Larutan Ca(OH)_2 . *Jurnal Sains dan Seni POMITS*, 2, 1 : 2337-3520.
- Otis, R.J. dan Mara, D.D. 1985. *The Design of Small Bore Sewer Systems*. Washington: United Nations Development Programme.
- Pamungkas, A.W. 2017. *Perancangan Tipikal Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Kecil Rumah Tangga (IKRT) Tahu di Kota Surabaya*. Tugas Akhir. Program Sarjana Teknik Lingkungan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 *Tentang Baku Mutu Air Limbah Kegiatan/Usaha Industri*, Lampiran I.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 04 Tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air limbah Domestik.

- Potter, C., Soepardi M., dan Gani A., 1994. *Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia Serta Sumber Pengendalian Dan Baku Mutu*. EMDI- Bapedal, Surakarta.
- Purwaningsih, E. 2007. *Cara Pembuatan Tahu dan Manfaat Kedelai*. Bandung: Ganeca Exact.
- Ramachandran, A. 1986. *The Design of Shallow Sewer Systems*. Nairobi: United Nations Centre fo Human Settlements (Habitat)
- Reynold, T.D., dan Richards, P.A. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. PWS Publishing Company
- Sani, E.Y. 2006. *Pengolahan Air Limbah Tahu Menggunakan Reaktor Anaerob Bersekat dan Aerob*. Tesis. Program Magister Ilmu Lingkungan – Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sasse, L., BORDA (Editor). 1998. *DEWATS (Decentralized Wastewater Treatment in Developing Countries)*. Bremen: Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA).
- Setiawan, A. dan Rusdijjati, R. 2014. *Peningkatan Kualitas Biogas Limbah Cair Tahu dengan Metode Taguchi*. Prosiding SNATIF ke-1. Fakultas Teknik Universitas Stikubank, Semarang dan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah, Magelang.
- SGC. 2012. *Basic Data on Biogas*. Sweden: Swedish Gas Technology Centre (SGC)
- Subekti, S. 2011. *Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas Sebagai Bahan Bakar Alternatif*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim, Semarang.
- Systems, B., Walski, T. M., Barnard, T. E., Harold, E., Merritt, L. B., Walker, N., Whitman, B. E. 2007. *Wastewater Collection System Modeling and Design*. Exton: Bentley Institue Press.
- Tchobanoglous, G. 1981. *Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater*. New York: McGraw-Hill.
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Zurbrügg, C. 2014. *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*, 2nd

- Revised Edition*. Dübendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG).
- Wagiman. 2007. *Identifikasi Potensi Produksi Biogas dari Limbah Cair Tahu dengan Reaktor Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*. Jurnal Bioteknologi, 4 (2),hal. 41-45.
- Widaningrum, I. 2015. *Teknologi Pembuatan Tahu yang Ramah Lingkungan (Bebas Limbah)*. Jurnal Dedikasi, 12:14-21. ISSN 1693-3214
- Wongthanate, J., Mapracha, N., Prapagdee, B., dan Arunlertaree, C. 2014. *Efficiency of Modified Grease Trap for Domestic Wastewater Treatment*. The Journal of Industrial Technology. Vol. 10. pp : 2557-2569

BIOGRAFI PENULIS



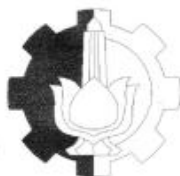
Arif Gemardi merupakan nama lengkap penulis. Penulis lahir di Kabupaten Lumajang pada tanggal 7 Juli 1995. Penulis bertempat tinggal di Perumahan ASABRI B5 Tempeh, Kabupaten Lumajang. Penulis mengemban Pendidikan formal dari Pendidikan dasar di SDN Tempeh Tengah 02, dilanjutkan Pendidikan menengah di SMPN 1 Tempeh, dan kemudian dilanjutkan di SMAN 2 Lumajang. Penulis kemudian melanjutkan Pendidikan sarjana di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, ITS, Surabaya pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 03211440000080.

Selama masa perkuliahan penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi mahasiswa. Penulis tercatat sebagai anggota aktif HMTL ITS dan JMMI ITS. Penulis pernah terlibat dalam kepengurusan di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) ITS menjabat sebagai Kabid Tim Kerohanian Al-Kaun pada periode 2016/2017 dan JMMI ITS menjabat sebagai staf bidang Kaderisasi pada periode 2015/2016. Informasi lebih lanjut tentang penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* arf.gemardi@gmail.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

A. Lampiran Hasil Uji Lab



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA LIMBAH CAIR

Dikirim Oleh : Sdr. Arif Gemardi
Dikirim Tanggal : 20 Pebruari 2018
Sampel Dari : Outlet IPAL 1
No. Laboratorium : 100-017/02/A/KL/2018

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah Domestik*)	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	6 - 9	7,13	pHmeter
2	TSS	mg/L	30	413	Gravimetri
3	COD	mg/L O ₂	100	1641,3	Reflux/Tetrimetri
4	BOD	mg/L O ₂	30	1021,8	Winkler
5	Minyak & Lemak	mg/L	5	34	Gravimetri
6	Amoniak	mg/L NH ₃ -N	10	183,4	Spektrofotometri
7	Total Koliform	MPN/100 mL	3.000	16 x 10 ⁸	Fermentasi Multi Tabung

Surabaya, 06 Maret 2018
Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS

Catatan :
*).PERMENLHK,
No. : P 68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016
- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air
yang diterima laboratorium kami

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.
NIP. 195501281985032001



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKLOLO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA LIMBAH CAIR

Dikirim Oleh : Sdr. Arif Gemardi
Dikirim Tanggal : 20 Pebruari 2018
Sampel Dari : Inlet IPAL 1 & 2
No. Laboratorium : 100-016/02/A/KL/2018

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah Domestik*)	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	6 - 9	4,57	pHmeter
2	TSS	mg/L	30	1135,4	Gravimetri
3	COD	mg/L O ₂	100	6320,8	Reflux/Tetrimetri
4	BOD	mg/L O ₂	30	3426,5	Winkler
5	Minyak & Lemak	mg/L	5	66	Gravimetri
6	Amoniak	mg/L NH ₃ -N	10	206,16	Spektrofotometri
7	Total Koliform	MPN/100 mL	3.000	22 x 10 ⁸	Fermentasi Multi Tabung

Surabaya, 06 Maret 2018
Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS

Prof. Dr. Ir. Niek Karnaningroem, MSc
NIP. 195501281985032001

Catatan :

*) PERMENLHK,

No. : P.68/Menlhk/Setjen/Kum. 1/8/2016

- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air
yang diterima laboratorium kami



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLOLO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA LIMBAH CAIR

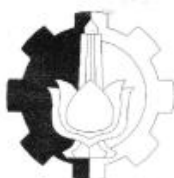
Dikirim Oleh : Sdr. Arif Gemardi
Dikirim Tanggal : 20 Februari 2018
Sampel Dari : Limbah Domestik 1
No. Laboratorium : 100-014/02/A/KL/2018

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah Domestik*)	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	6 - 9	6,95	pHmeter
2	TSS	mg/L	30	272	Gravimetri
3	COD	mg/L O ₂	100	376	Reflux/Tetrimetri
4	BOD	mg/L O ₂	30	218	Winkler
5	Minyak & Lemak	mg/L	5	18	Gravimetri
6	Amoniak	mg/L NH ₃ -N	10	47,75	Spektrofotometri
7	Total Koliform	MPN/100 mL	3.000	17 x 10 ⁸	Fermentasi Multi Tabung

Surabaya, 06 Maret 2018
Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.
NIP. 195501281985032001

Catatan :
*) PERMENLHK,
No. : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016
- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air
yang diterima laboratorium kami



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA LIMBAH CAIR

Dikirim Oleh : Sdr. Arif Gemardi
Dikirim Tanggal : 20 Februari 2018
Sampel Dari : Outlet IPAL 2
No. Laboratorium : 100-018/02/A/KL/2018

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah Domestik*)	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	6 - 9	7,24	pHmeter
2	TSS	mg/L	30	322	Gravimetri
3	COD	mg/L O ₂	100	1418,5	Reflux/Tetrimetri
4	BOD	mg/L O ₂	30	972,6	Winkler
5	Minyak & Lemak	mg/L	5	28	Gravimetri
6	Amoniak	mg/L NH ₃ -N	10	194,7	Spektrofotometri
7	Total Koliform	MPN/100 mL	3.000	17 x 10 ⁶	Fermentasi Multi Tabung

Surabaya, 06 Maret 2018
Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS

Catatan :
*) PERMENLHK,
No. : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016
- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air
yang diterima laboratorium kami

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc. 9
NIP. 195501281985032001

B. Lampiran Kuisoner

1. Kuisoner SPALDS dan Biogas

No. Responden :
Nama :
Pekerjaan :
Jumlah Keluarga :

- Penggunaan Air Bersih:
Biaya per bulan:
Ketersediaan Jamban:
Iuran sampah:
ah: Kesanggupan membayar iuran limbah:
15rb, 30rb, 45rb, 60rb
- Pendapat Adanya Pabrik Tahu:

Kebutuhan bahan bakar:
: Kesanggupan membayar iuran 30rb:

No. Responden :
Nama :
Pekerjaan :
Jumlah Keluarga :

- Penggunaan Air Bersih:
Biaya per bulan:
Ketersediaan Jamban:
Iuran sampah:
h: Kesanggupan membayar iuran limbah:
15rb, 30rb, 45rb, 60rb
- Pendapat Adanya Pabrik Tahu:

Kebutuhan bahan bakar:
Kesanggupan membayar iuran 30rb:

2. Kuisioner SPALDT

KUISIONER TENTANG AIR LIMBAH DOMESTIK

IDENTITAS RESPONDEN

1. Nama
2. Jumlah KK
3. Berapa Usia Anda :
 - a. <17 Tahun
 - b. 18-25 Tahun
 - c. 26-40 Tahun
 - d. >40 Tahun
4. Apa pekerjaan Anda :
 - a. Pekerjaan Tetap (PNS / TNI/ Polri /Karyawan Swasta / Wiraswasta)
 - b. Pekerjaan Tidak Tetap (buruh tani/ buruh nelayan/ serabutan)
 - c. Tidak Bekerja
 - Lainnya
5. Apa pendidikan terakhir Anda:
 - a. S1
 - b. D3
 - c. SLTA
 - d. SLTP
 - e. Sekolah Dasar
 - Lainnya :
6. Berapa penghasilan gabungan per bulan ?
 - a. < 1.000.000/bulan
 - b. 1.000.000 – 2.500.000/bulan
 - c. 2.500.000 – 4.000.000/bulan
 - d. 4.000.000 – 5.500.000/bulan
 - e. 5.500.000 – 7.000.000/bulan
 - f. > 7.000.000/bulan

KETERSEDIAAN SARANA AIR LIMBAH

1. Sumber air bersih apakah yang anda gunakan dalam kegiatan rumah sehari-hari?
 - a. PDAM
 - b. Air Tanah/Sumur
 - c. Lainnya
2. Apa saja kegiatan sehari-hari yang menggunakan air bersih tersebut?
 - a. Mandi, Cuci, Kakus (MCK)
 - b. Memasak dan cuci piring
 - c. Mencuci kendaraan
 - d. Menyiram tanaman atau jalan
 - e. Lainnya
3. Berapa rata-rata pemakaian air bersih per bulan?
.....
4. Apakah anda memiliki jamban dan tangki septik pribadi?
 - a. Ada
 - b. Tidak ada
4. Kapan waktu pengurusan tangki septik anda lakukan?
 - a. 1 - 3 tahun
 - b. 3 - 5 tahun
 - c. 5 - 10 tahun
 - d. Tidak pernah

5. Apa yang anda lakukan dalam menangani air bekas mandi/cuci/dapur ?
 - a. Tidak ada, dibiarkan tergenang
 - b. Ada, diresapkan ke tanah
 - c. Ada, dialirkan ke selokan terbuka
6. Apakah anda pernah mengikuti kegiatan sosialisasi tentang mengolah air limbah ?
 - a. Lebih dari 3 kali
 - b. 2-3 kali
 - c. 1 kali
 - d. Tidak pernah
7. Berapa iuran pengangkutan sampah per bulannya?

SIKAP MASYARAKAT

No.	Pertanyaan	Jawaban	Keterangan
1	Apakah menurut anda air limbah rumah tangga mencemari lingkungan?	SS	Jelaskan alasan anda ?
		S	
		N	
		TS	
		STS	
2	Apakah anda bersedia apabila air limbah dari rumah anda, diolah secara komunal/bersama-sama ?	SS	Jelaskan alasan anda ?
		S	
		N	
		TS	
		STS	
3	Apakah anda bersedia untuk berpartisipasi dalam kegiatan pemeliharaan sarana dan prasarana pengelolaan air limbah di lingkungan anda?	SS	Jelaskan alasan anda ?
		S	
		N	
		TS	
		STS	
4	Apakah anda bersedia membayar retribusi untuk mengolah air bekas (air limbah) ?	SS	Jelaskan alasan anda ?
		S	
		N	
		TS	
		STS	
5	Berapakah kemampuan anda membayar biaya retribusi per bulan?		< 5.000
			5.000 – 15.000
			15.000 – 30.000
			30.000 – 60.000
			≥ 60.000

Keterangan :

SS = Sangat Setuju

S = Setuju

TS = Tidak Setuju

STS = Sangat Tidak Setuju

N = Netral

C. Lampiran Foto Kegiatan

1) Pengambilan Sampel Air Limbah Domestik



2) Pengambilan Sampel Air Limbah Tahu



3) Pengukuran Elevasi Medan Menggunakan Aplikasi Altitude di Android



4) Survei Masyarakat







ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Arif Gemandi
NRP : 03211940002080
Judul Tugas Akhir :

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	9-3-2018	Asistensi kursoner dan hasil survei lapangan	
2.	14-3-2018	Asistensi pencarian debit menggunakan rekorder PDAM masyarakat	
3.	13-4-2018	Asistensi kriteria dan pembuatan SPAL Asistensi lokasi IPAL	
4	20-4-2018	- Asistensi Vm SPAL & penggelontoran - Pemilihan jenis IPAL, bandingkan dengan IPAL di daerah lain	
5	11-5-2018	- Penanaman sesuai kondisi lahan - Perbaikan pabrik pompa SPALD - Bak Ekuilisasi pakai Or.	
6.	24-5-2018	- Bak kontrol sesuaikan dengan kondisi lapangan - SPAL pilih elevasi yang sesuai - Waktu 18 sesuaikan teori dan fakta lapangan	
7.	31-5-2018	- Tambahi SDG untuk IPAL ke-rusak - Digesfer bentuk sesuaikan teori dan layout lapangan - Tekal garis gambar diperbaiki	
8.	6-6-2018		

Surabaya,
Dosen Pembimbing

Dr. Eddy Setiadi, Sadjono, Dpt SE, M.Sc, PhD



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948888, Fax: 031-5926387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR

Kode/SKS : RE141881 (0/6/0)

Periode: Genap 2017/2018

No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal Jumat 04-Mei-18

Nilai TOEFL 433

Pukul 14.30-15.30

Lokasi TL 101

Judul Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah Domestik dan Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu di Kota Probolinggo

Nama Arif Gemardi

NRP. 032114940000080

Tanda Tangan

Topik Perencanaan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1.	Disiapkan 1 paper yg untuk di submit pabrik tahu saja unt. gas.
2.	

$\frac{6}{6}$ RS

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FTLK-ITS
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2017/2018

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 04 Juli 2018

Nilai TOEFL 433

Pukul : 13.00 - 15.00 WIB

Lokasi : TL-102

Judul : Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah Domestik dan Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu di Kota Probolinggo

Nama : Arif Gemardi

Tanda Tangan

NRP. : 0321144000080

Topik : Perencanaan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
	Menyiapkan Paper

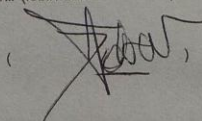
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

()



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM FTA-05

FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama : ARIF GEMARDI
NRP : 03211490000030
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah Domestik dan
Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu di Kota Probolinggo

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	Perbaiki gambar - Manhole - Bak kontrol - Stasiun Pompa - Profil Hidrolis IRAL - Bak Pengendap I - Tangki Aerasi	Sudah diperbaiki
2.	Perbaiki penulisan dan perhitungan	Sudah diperbaiki
3.	Perbaiki Analisis kelayakan ekonomi	Sudah diperbaiki

Dosen Pembimbing,

Ir. Eddy Setyadi Soedjono, Dpt. SE, M.Sc, Ph.D.

Mahasiswa Ybs.,

ARIF GEMARDI

Tabel 6. 1 Data Perhitungan Dimensi Pipa Sekunder SPALD-T

Pipa	Panjang (m)	Slope	Qr (m³/hari)	Qpeak (m³/hari)	Qmin (m³/hari)	d/D	Qpeak/Qfull	Qfull (m³/hari)	D Hitung (m)	D Apply (m)	Qfull (m³/s)	Vfull (m/s)	Qmin/Qfull	dmin/D	Vmin/Vfull	Vmin (m/s)	V _{gelontor} (m³)
a1 - A	158	0,007	36,39	60,20	5,73	0,8	0,975	61,75	0,05	0,100	0,005	0,60	0,01	0,12	0,44	0,26	0,12
a2 - A	280	0,007	104,43	148,12	20,30	0,8	0,975	151,92	0,07	0,100	0,005	0,60	0,05	0,14	0,48	0,29	0,22
b1 - B	280	0,007	57,39	88,49	9,90	0,8	0,975	90,75	0,06	0,100	0,005	0,60	0,02	0,14	0,48	0,29	0,22
c1 - C	156	0,007	71,12	106,29	12,81	0,8	0,975	109,02	0,06	0,100	0,005	0,60	0,03	0,15	0,49	0,29	0,12
d1 - D	300	0,007	130,83	180,36	26,61	0,8	0,975	184,99	0,07	0,100	0,005	0,60	0,07	0,14	0,48	0,29	0,24
e1 - E	158	0,007	111,17	156,42	21,89	0,8	0,975	160,43	0,07	0,100	0,005	0,60	0,05	0,14	0,48	0,29	0,12
e2 - E	282	0,007	162,88	218,78	34,61	0,8	0,975	224,39	0,08	0,100	0,005	0,60	0,09	0,22	0,64	0,38	0,22
f1 - F	250	0,007	147,01	199,84	30,60	0,8	0,975	204,96	0,08	0,100	0,005	0,60	0,08	0,2	0,62	0,37	0,20
g1 - G	324	0,007	169,76	226,94	36,37	0,8	0,975	232,76	0,08	0,100	0,005	0,60	0,09	0,22	0,64	0,38	0,25
h1 - H	403	0,007	127	175,93	25,72	0,8	0,975	180,44	0,07	0,100	0,005	0,60	0,06	0,18	0,6	0,36	0,32
i1 - I	431	0,007	66,92	100,88	11,90	0,8	0,975	103,47	0,06	0,100	0,005	0,60	0,03	0,15	0,49	0,29	0,34
i2 - I	312	0,007	196,30	258,21	43,30	0,8	0,975	264,83	0,09	0,100	0,005	0,60	0,11	0,25	0,7	0,42	0,24
j1 - j2	162	0,007	85,50	124,54	15,97	0,8	0,975	127,73	0,06	0,100	0,005	0,60	0,04	0,16	0,56	0,33	0,13
j3 - j4	285	0,007	163,42	219,42	34,75	0,8	0,975	225,05	0,08	0,100	0,005	0,60	0,09	0,22	0,64	0,38	0,22
j5 - j6	193	0,007	62,00	94,51	10,86	0,8	0,975	96,93	0,06	0,100	0,005	0,60	0,03	0,15	0,49	0,29	0,15
j7 - j8	232	0,007	63,09	95,92	11,09	0,8	0,975	98,38	0,06	0,100	0,005	0,60	0,03	0,15	0,49	0,29	0,18
k1 - K	621	0,007	121,25	168,73	24,29	0,8	0,975	173,06	0,07	0,100	0,005	0,60	0,06	0,18	0,6	0,36	0,49
l1 - L	368	0,007	56,64	87,49	9,74	0,8	0,975	89,73	0,06	0,100	0,005	0,60	0,02	0,14	0,48	0,29	0,29
m1 - M	536	0,007	194,22	255,76	42,75	0,8	0,975	262,32	0,09	0,100	0,005	0,60	0,11	0,25	0,7	0,42	0,42
n1 - N	417	0,007	123,26	171,18	24,77	0,8	0,975	175,57	0,07	0,100	0,005	0,60	0,06	0,18	0,6	0,36	0,33
o1 - O	408	0,007	87,95	127,62	16,52	0,8	0,975	130,89	0,07	0,100	0,005	0,60	0,04	0,16	0,56	0,33	0,32
p1 - P	165	0,007	88,24	127,98	16,59	0,8	0,975	131,26	0,07	0,100	0,005	0,60	0,04	0,16	0,56	0,33	0,13
q1 - Q	390	0,007	137,06	187,88	28,14	0,8	0,975	192,70	0,08	0,100	0,005	0,60	0,07	0,2	0,62	0,37	0,31
r1 - r2	340	0,007	105,41	149,33	20,53	0,8	0,975	153,16	0,07	0,100	0,005	0,60	0,05	0,17	0,58	0,35	0,27
r2 - r3	158	0,007	131	180,63	26,66	0,8	0,975	185,26	0,07	0,100	0,005	0,60	0,07	0,18	0,6	0,36	
r3 - r4	220	0,007	131	180,63	26,66	0,8	0,975	185,26	0,07	0,100	0,005	0,60	0,07	0,18	0,6	0,36	
r4 - R	153	0,007	180,30	239,40	39,10	0,8	0,975	245,54	0,08	0,100	0,005	0,60	0,10	0,23	0,66	0,39	
r5 - R	152	0,007	169,62	226,77	36,34	0,8	0,975	232,59	0,08	0,100	0,005	0,60	0,09	0,22	0,64	0,38	0,12
s1 - S	392	0,007	53,39	83,21	9,08	0,8	0,975	85,35	0,06	0,100	0,005	0,60	0,02	0,14	0,48	0,29	0,31

Pipa	Panjang (m)	Slope	Qr (m ³ /hari)	Qpeak (m ³ /hari)	Qmin (m ³ /hari)	d/D	Qpeak/Qfull	Qfull (m ³ /hari)	D Hitung (m)	D Apply (m)	Qfull (m ³ /s)	Vfull (m/s)	Qmin/Qfull	dmin/D	Vmin/Vfull	Vmin (m/s)	V _{gelontor} (m ³)
t1 - T	406	0,007	201,91	264,77	44,79	0,8	0,975	271,56	0,09	0,100	0,005	0,60	0,11	0,25	0,7	0,42	0,32
u1 - u2	324	0,007	298,16	375,77	71,50	0,8	0,975	385,40	0,10	0,100	0,005	0,60	0,18	0,32	0,84	0,50	0,25
u2 - U	607	0,007	732,47	857,48	210,25	0,8	0,975	879,47	0,13	0,150	0,014	0,78	0,18	0,29	0,8	0,62	
v1 - V	213	0,007	213,43	278,22	47,87	0,8	0,975	285,35	0,09	0,100	0,005	0,60	0,12	0,26	0,72	0,43	0,17
w1 - W	482	0,007	363,07	449,31	90,57	0,8	0,975	460,84	0,11	0,125	0,008	0,69	0,12	0,28	0,75	0,52	0,59
x1 - X	292	0,007	110,48	155,56	21,72	0,8	0,975	159,55	0,07	0,100	0,005	0,60	0,05	0,17	0,58	0,35	0,23
y1 - y2	115	0,007	111,89	157,30	22,06	0,8	0,975	161,33	0,07	0,100	0,005	0,60	0,05	0,17	0,58	0,35	0,09

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. 6 Data Perhitungan Dimensi Pipa Primer SPALD-T

Pipa	Panjang Pipa (m)	Slope	Qr (m ³ /hari)	Qpeak (m ³ /hari)	Qmin (m ³ /hari)	d/D	Qpeak/Qfull	Qfull (m ³ /hari)	D Hitung (m)	D Apply (m)	Qfull (m ³ /s)	Vfull (m/s)	Qmin/Qfull	dmin/D	Vmin/Vfull	Vmin (m/s)
A - B	75	0,007	140,82	208,33	26,03	0,8	0,975	213,67	0,08	0,100	0,005	0,60	0,06	0,17	0,58	0,35
B - C	153	0,007	198,21	296,81	35,93	0,8	0,975	304,42	0,09	0,100	0,005	0,60	0,09	0,22	0,64	0,38
C - D	77	0,006	269,34	403,10	48,74	0,8	0,975	413,44	0,10	0,125	0,008	0,64	0,07	0,18	0,6	0,38
D - E	305	0,006	400,17	583,47	75,35	0,8	0,975	598,43	0,12	0,125	0,008	0,64	0,11	0,23	0,66	0,42
E - F	322	0,005	674,23	958,67	131,85	0,8	0,975	983,25	0,15	0,150	0,012	0,66	0,13	0,25	0,7	0,46
F - j2	162	0,005	759,73	1083,21	147,82	0,8	0,975	1110,98	0,16	0,150	0,012	0,66	0,15	0,26	0,72	0,48
j2 - j4	300	0,003	923,15	1302,63	182,57	0,8	0,975	1336,03	0,18	0,200	0,019	0,62	0,11	0,18	0,6	0,37
j4 - J	12	0,003	923,15	1302,63	182,57	0,8	0,975	1336,03	0,18	0,200	0,019	0,62	0,11	0,18	0,6	0,37
G - H	134	0,007	169,76	226,94	36,37	0,8	0,975	232,76	0,08	0,100	0,005	0,60	0,09	0,22	0,64	0,38
H - I	214	0,007	296,93	402,87	62,09	0,8	0,975	413,20	0,10	0,100	0,005	0,60	0,15	0,32	0,79	0,47
I - J	322	0,005	560,15	761,96	117,29	0,8	0,975	781,49	0,14	0,150	0,012	0,66	0,12	0,23	0,66	0,44
K - L	105	0,007	121,25	168,73	24,29	0,8	0,975	173,06	0,07	0,100	0,005	0,60	0,06	0,17	0,58	0,35
L - M	166	0,007	177,88	256,22	34,03	0,8	0,975	262,79	0,09	0,100	0,005	0,60	0,08	0,12	0,44	0,26
M - N	122	0,006	372,10	511,98	76,78	0,8	0,975	525,11	0,11	0,125	0,008	0,64	0,11	0,23	0,66	0,42
N - O	192	0,006	495,36	683,17	101,55	0,8	0,975	700,68	0,13	0,125	0,008	0,64	0,15	0,28	0,75	0,48
O - P	312	0,005	583,31	810,79	118,07	0,8	0,975	831,58	0,14	0,150	0,012	0,66	0,12	0,23	0,66	0,44
P - Q	392	0,005	671,55	938,76	134,66	0,8	0,975	962,84	0,15	0,150	0,012	0,66	0,13	0,25	0,7	0,46
Q - j6	205	0,005	808,60	1126,65	162,80	0,8	0,975	1155,54	0,16	0,150	0,012	0,66	0,16	0,28	0,75	0,50
j6 - j8	278	0,003	871,69	1222,57	173,89	0,8	0,975	1253,92	0,18	0,200	0,019	0,62	0,10	0,3	0,77	0,48

Pipa	Panjang Pipa (m)	Slope	Qr (m ³ /hari)	Qpeak (m ³ /hari)	Qmin (m ³ /hari)	d/D	Qpeak/ Qfull	Qfull (m ³ /hari)	D Hitung (m)	D Apply (m)	Qfull (m ³ /s)	Vfull (m/s)	Qmin/ Qfull	dmin/D	Vmin/ Vfull	Vmin (m/s)
j8 - J	32	0,003	871,69	1222,57	173,89	0,8	0,975	1253,92	0,18	0,200	0,019	0,62	0,10	0,3	0,77	0,48
J - R	178	0,003	2354,99	3287,15	473,75	0,8	0,975	3371,44	0,26	0,300	0,035	0,72	0,16	0,23	0,66	0,47
R - S	8	0,003	2704,91	3753,33	549,18	0,8	0,975	3849,56	0,27	0,300	0,035	0,72	0,18	0,25	0,7	0,50
S - T	322	0,003	2758,31	3836,54	558,26	0,8	0,975	3934,91	0,28	0,300	0,035	0,72	0,18	0,26	0,72	0,52
T - U	110	0,003	2960,22	4101,31	603,05	0,8	0,975	4206,47	0,28	0,300	0,035	0,72	0,20	0,26	0,72	0,52
U - V	100	0,003	3692,69	4958,79	813,29	0,8	0,975	5085,94	0,29	0,300	0,057	0,81	0,16	0,23	0,66	0,54
V - Y	220	0,003	3906,12	5237,01	861,17	0,8	0,975	5371,29	0,30	0,300	0,057	0,81	0,17	0,25	0,7	0,57
W - X	140	0,006	363,07	449,31	90,57	0,8	0,975	460,84	0,11	0,125	0,008	0,64	0,13	0,26	0,72	0,46
X - y2	120	0,006	473,55	604,88	112,29	0,8	0,975	620,39	0,12	0,125	0,008	0,64	0,17	0,32	0,79	0,51
y2 - Y	87	0,005	585,44	762,18	134,34	0,8	0,975	781,72	0,14	0,150	0,012	0,66	0,13	0,34	0,81	0,53
Y - Z	318	0,002	4491,56	5999,19	995,51	0,8	0,975	6153,01	0,34	0,350	0,047	0,66	0,25	0,28	0,75	0,50
Z - IPAL	15	0,002	4491,56	5999,19	995,51	0,8	0,975	6153,01	0,34	0,350	0,047	0,66	0,25	0,28	0,75	0,50

Sumber: Hasil Perhitungan

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

Tabel 6. 7 Data Kedalaman Penanaman Pipa Sekunder SPALD-T

No.	Jalur Pipa	Panjang Pipa	Elevasi Medan		Slope pipa	HL	D pipa	Elevasi Atas Pipa(m)		Elevasi Bawah Pipa (m)		Pondasi Pasir bawah	Kedalaman Penanaman (m)		Keterangan
		(m)	awal	akhir		m	m	Awal	Akhir	Awal	Akhir		Awal	Akhir	
1	a1 - A	158,00	14,63	14,63	0,0070	1,11	0,100	13,63	12,52	13,53	12,42	0,10	1,20	2,31	
2	a2 - A	280,00	14,94	14,63	0,0070	1,96	0,100	13,94	11,98	13,84	11,88	0,10	1,20	2,86	
3	b1 - B	280,00	14,33	13,72	0,0070	1,96	0,100	13,33	11,37	13,23	11,27	0,10	1,20	2,55	
4	c1 - C	156,00	13,41	13,41	0,0070	1,09	0,100	12,41	11,32	12,31	11,22	0,10	1,20	2,29	
5	d1 - D	300,00	13,41	13,11	0,0070	2,10	0,100	12,41	10,31	12,31	10,21	0,10	1,20	3,00	
6	e1 - E	158,00	11,89	11,89	0,0070	1,11	0,100	10,89	9,78	10,79	9,68	0,10	1,20	2,31	
7	e2 - E	282,00	11,58	11,89	0,0070	1,97	0,100	10,58	8,61	10,48	8,51	0,10	1,20	3,48	
8	f1 - F	250,00	10,67	11,28	0,0070	1,75	0,100	9,67	7,92	9,57	7,82	0,10	1,20	3,56	
9	g1 - G	324,00	13,41	13,41	0,0070	2,27	0,100	12,41	10,14	12,31	10,04	0,10	1,20	3,47	
10	h1 - H	403,00	13,41	13,11	0,0070	2,82	0,100	12,41	9,59	12,31	9,49	0,10	1,20	3,72	
11	i1 - I	431,00	13,11	12,19	0,0070	3,02	0,100	12,11	9,09	12,01	8,99	0,10	1,20	3,30	
12	i2 - I	312,00	11,89	12,19	0,0070	2,18	0,100	10,89	8,70	10,79	8,60	0,10	1,20	3,69	
13	j1 - j2	162,00	11,28	11,58	0,0070	1,13	0,100	10,28	9,14	10,18	9,04	0,10	1,20	2,64	
14	j3 - j4	285,00	11,58	10,67	0,0070	2,00	0,100	10,58	8,59	10,48	8,49	0,10	1,20	2,28	
15	j5 - j6	193,00	10,97	10,67	0,0070	1,35	0,100	9,97	8,62	9,87	8,52	0,10	1,20	2,25	
16	j7 - j8	232,00	10,67	10,67	0,0070	1,62	0,100	9,67	8,04	9,57	7,94	0,10	1,20	2,82	
17	k1 - K	621,00	14,63	14,02	0,0070	4,35	0,100	13,63	9,28	13,53	9,18	0,10	1,20	4,94	
18	l1 - L	368,00	13,72	13,41	0,0070	2,58	0,100	12,72	10,14	12,62	10,04	0,10	1,20	3,47	
19	m1 - M	536,00	13,11	13,11	0,0070	3,75	0,100	12,11	8,35	12,01	8,25	0,10	1,20	4,95	
20	n1 - N	417,00	13,41	12,80	0,0070	2,92	0,100	12,41	9,49	12,31	9,39	0,10	1,20	3,51	
21	o1 - O	408,00	13,11	12,80	0,0070	2,86	0,100	12,11	9,25	12,01	9,15	0,10	1,20	3,75	
22	p1 - P	165,00	10,67	11,28	0,0070	1,16	0,100	9,67	8,51	9,57	8,41	0,10	1,20	2,96	
23	q1 - Q	390,00	11,28	10,97	0,0070	2,73	0,100	10,28	7,55	10,18	7,45	0,10	1,20	3,63	
24	r1 - r2	340,00	10,67	10,06	0,0070	2,38	0,100	9,67	7,29	9,57	7,19	0,10	1,20	2,97	
25	r2 - r3	158,00	10,06	10,06	0,0070	1,11	0,100	7,29	6,18	7,19	6,08	0,10	2,97	4,08	pompa
26	r3 - r4	220,00	10,06	9,75	0,0070	1,54	0,100	9,06	7,52	8,96	7,42	0,10	1,20	2,44	
27	r4 - R	153,00	9,75	9,75	0,0070	1,07	0,100	9,75	8,68	9,65	8,58	0,10	0,20	1,27	
28	r5 - R	152,00	10,06	9,75	0,0070	1,06	0,100	7,68	6,62	7,58	6,52	0,10	2,58	3,34	

No.	Jalur Pipa	Panjang Pipa	Elevasi Medan		Slope pipa	HL	D pipa	Elevasi Atas Pipa(m)		Elevasi Bawah Pipa (m)		Pondasi Pasir bawah	Kedalaman Penanaman (m)		Keterangan
		(m)	awal	akhir				Awal	Akhir	Awal	Akhir		Awal	Akhir	
29	s1 - S	392,00	9,75	9,75	0,0070	2,74	0,100	8,75	6,01	8,65	5,91	0,10	1,20	3,94	
30	t1 - T	406,00	9,14	7,92	0,0070	2,84	0,100	8,14	5,30	8,04	5,20	0,10	1,20	2,82	
31	u1 - u2	324,00	9,14	7,62	0,0070	2,27	0,100	8,14	5,88	8,04	5,78	0,10	1,20	1,94	
32	u2 - SP	300,00	7,62	7,62	0,0070	2,10	0,150	5,88	3,78	5,73	3,63	0,10	1,99	4,09	pompa
33	SP - U	300,00	7,62	7,62	0,0070	2,10	0,150	6,62	4,52	6,47	4,37	0,10	1,25	3,35	
34	v1 - V	213,00	7,92	7,62	0,0070	1,49	0,100	6,92	5,43	6,82	5,33	0,10	1,20	2,39	
35	w1 - SP	300,00	4,57	5,20	0,0070	2,10	0,125	3,57	1,47	3,45	1,35	0,10	1,23	3,95	pompa
36	SP - W	180,00	5,20	5,79	0,0070	1,26	0,125	4,20	2,94	4,08	2,82	0,10	1,23	3,08	
37	x1 - X	292,00	7,32	6,71	0,0070	2,04	0,100	6,32	4,27	6,22	4,17	0,10	1,20	2,63	
38	y1 - y2	115,00	6,71	6,10	0,0070	0,81	0,100	5,71	4,90	5,61	4,80	0,10	1,20	1,40	

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. 8 Data Kedalaman Penanaman Pipa Primer SPALD-T

No.	Jalur Pipa	Panjang Pipa	Elevasi Medan		Slope pipa	HL	D pipa	Elevasi Atas Pipa(m)		Elevasi Bawah Pipa (m)		Pondasi Pasir bawah	Kedalaman Penanaman (m)		Keterangan
		(m)	awal	akhir				Awal	Akhir	Awal	Akhir		Awal	Akhir	
1	A - B	75	14,63	13,72	0,009	0,68	0,100	11,98	11,30	11,88	11,20	0,10	2,86	2,62	
2	B - C	153	13,72	13,41	0,007	1,07	0,100	11,30	10,23	11,20	10,13	0,10	2,62	3,38	
3	C - D	77	13,41	13,11	0,006	0,46	0,125	10,23	9,77	10,10	9,64	0,10	3,41	3,56	
4	D - E	305	13,11	11,89	0,006	1,83	0,125	9,77	7,94	9,64	7,81	0,10	3,56	4,18	
5	E - F	322	11,89	11,28	0,004	1,29	0,150	7,94	6,65	7,79	6,50	0,10	4,20	4,88	
6	F - j2	162	11,28	11,58	0,007	1,13	0,150	10,28	9,14	10,13	8,99	0,10	1,25	2,69	pompa
7	j2 - j4	300	11,58	10,67	0,004	1,20	0,200	9,14	7,94	8,94	7,74	0,10	2,74	3,02	
8	j4 - J	12	10,67	10,67	0,003	0,04	0,200	7,94	7,91	7,74	7,71	0,10	3,02	3,06	
9	G - H	134	13,41	13,11	0,007	0,94	0,100	10,14	9,21	10,04	9,11	0,10	3,47	4,10	
10	H - I	214	13,11	12,19	0,007	1,50	0,100	9,21	7,71	9,11	7,61	0,10	4,10	4,68	
11	I - J	322	12,19	10,67	0,005	1,61	0,150	7,71	6,10	7,56	5,95	0,10	4,73	4,82	
12	K - L	105	14,02	13,41	0,01	1,05	0,100	11,02	9,97	10,92	9,87	0,10	3,20	3,64	pompa
13	L - M	166	13,41	13,11	0,01	1,66	0,100	9,97	8,31	9,87	8,21	0,10	3,64	5,00	pompa
14	M - N	122	13,11	13,11	0,006	0,73	0,125	10,61	9,87	10,48	9,75	0,10	2,73	3,46	

No.	Jalur Pipa	Panjang Pipa (m)	Elevasi Medan		Slope pipa	HL m	D pipa m	Elevasi Atas Pipa(m)		Elevasi Bawah Pipa (m)		Pondasi Pasir bawah	Kedalaman Penanaman (m)		Keterangan
			awal	akhir				Awal	Akhir	Awal	Akhir		Awal	Akhir	
15	N - O	192	13,11	12,80	0,006	1,15	0,125	9,87	8,72	9,75	8,60	0,10	3,46	4,30	
16	O - P	312	12,80	11,28	0,005	1,56	0,150	8,72	7,16	8,57	7,01	0,10	4,33	4,37	pompa
17	P - Q	392	11,28	10,97	0,007	2,74	0,150	10,28	7,53	10,13	7,38	0,10	1,25	3,69	
18	Q - j6	205	10,97	10,67	0,005	1,03	0,150	7,53	6,51	7,38	6,36	0,10	3,69	4,41	pompa
19	j6 - j8	278	10,67	10,67	0,006	1,67	0,200	9,67	8,00	9,47	7,80	0,10	1,30	2,97	
20	j8 - J	32	10,67	10,67	0,003	0,10	0,200	8,00	7,90	7,80	7,70	0,10	2,97	3,06	
21	J - R	178	10,67	9,75	0,003	0,53	0,300	7,67	7,13	7,37	6,83	0,10	3,40	3,02	pompa
22	R - S	8	9,75	9,75	0,003	0,02	0,300	7,13	7,11	6,83	6,81	0,10	3,02	3,04	
23	S - T	322	9,75	7,92	0,003	0,97	0,300	7,11	6,14	6,81	5,84	0,10	3,04	2,18	
24	T - U	110	7,92	7,62	0,003	0,33	0,300	6,14	5,81	5,84	5,51	0,10	2,18	2,21	
25	U - V	100	7,62	7,62	0,003	0,30	0,300	4,52	4,22	4,22	3,92	0,10	3,50	3,80	
26	V - Y	220	7,62	5,79	0,003	0,66	0,300	4,22	3,56	3,92	3,26	0,10	3,80	2,63	
27	W - X	140	5,79	6,71	0,006	0,84	0,125	2,94	2,94	2,82	2,82	0,10	3,08	3,00	saluran tertutup
28	X - y2	120	6,71	6,10	0,006	0,72	0,125	2,94	2,22	2,82	2,10	0,10	3,99	4,10	
29	y2 - Y	87	6,10	5,79	0,005	0,44	0,150	2,22	1,79	2,07	1,64	0,10	4,13	4,26	
30	Y - Z	318	5,79	4,88	0,002	0,64	0,350	3,56	2,92	3,21	2,57	0,10	2,68	2,40	
31	Z - IPAL	15	4,88	4,27	0,002	0,03	0,350	2,92	2,89	2,57	2,54	0,10	2,40	1,82	

Sumber: Hasil Perhitungan

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

Tabel 6. 2 Data Perhitungan Dimensi Pipa Pengumpul SPALD-S

Pipa	Panjang (m)	Slope	Qr (m ³ /hari)	Qpeak (m ³ /hari)	Qmin (m ³ /hari)	d/D	Qpeak/Qfull	Qfull (m ³ /hari)	D Hitung (m)	D Apply (m)	Qfull (m ³ /s)	Vfull (m/s)	Qmin/Qfull	dmin/D	Vmin/Vfull	Vmin (m/s)
a1 - a2	17	0,01	0,60	2,02	0,41	0,8	0,975	2,07	0,01	0,100	0,005	0,676	0,001	0,070	0,390	0,26
a2 - A	9,5	0,01	1,56	5,63	1,05	0,8	0,975	5,77	0,02	0,100	0,005	0,676	0,002	0,080	0,400	0,27
a3 - A	21,5	0,04	1,92	7,19	1,27	0,8	0,975	7,37	0,02	0,100	0,005	0,676	0,003	0,090	0,410	0,28
A - b1	8	0,009	3,49	12,82	2,32	0,8	0,975	13,14	0,03	0,100	0,005	0,676	0,005	0,100	0,420	0,28
b1 - b2	9,5	0,009	3,97	14,62	2,64	0,8	0,975	15,00	0,03	0,100	0,005	0,676	0,006	0,110	0,425	0,29
b2 - B	12,3	0,009	4,33	16,18	2,87	0,8	0,975	16,60	0,03	0,100	0,005	0,676	0,006	0,110	0,425	0,29
b3 - b4	6	0,03	1,56	5,63	1,05	0,8	0,975	5,77	0,02	0,100	0,005	0,676	0,002	0,080	0,400	0,27
b4 - B	29,5	0,03	2,53	9,24	1,68	0,8	0,975	9,47	0,02	0,100	0,005	0,676	0,004	0,095	0,415	0,28
B - c1	15	0,009	6,86	25,42	4,55	0,8	0,975	26,07	0,03	0,100	0,005	0,676	0,010	0,120	0,440	0,30
c1 - c2	22,3	0,009	8,30	30,83	5,50	0,8	0,975	31,62	0,04	0,100	0,005	0,676	0,012	0,125	0,450	0,30
c2 - c3	10,7	0,009	8,78	32,64	5,82	0,8	0,975	33,47	0,04	0,100	0,005	0,676	0,013	0,125	0,450	0,30
c3 - C	11,6	0,009	9,62	36,00	6,36	0,8	0,975	36,93	0,04	0,100	0,005	0,676	0,014	0,130	0,460	0,31
c4 - c5	11	0,01	0,84	3,37	0,54	0,8	0,975	3,45	0,02	0,100	0,005	0,676	0,001	0,170	0,580	0,39
c5 - c7	12,6	0,01	1,32	5,17	0,86	0,8	0,975	5,30	0,02	0,100	0,005	0,676	0,002	0,080	0,400	0,27
c6 - c7	12,6	0,02	0,48	1,80	0,32	0,8	0,975	1,85	0,01	0,100	0,005	0,676	0,001	0,070	0,390	0,26
c7 - c8	9	0,02	2,53	10,06	1,63	0,8	0,975	10,31	0,02	0,100	0,005	0,676	0,004	0,095	0,415	0,28
c8 - C	26,2	0,02	3,25	12,27	2,15	0,8	0,975	12,58	0,03	0,100	0,005	0,676	0,005	0,100	0,420	0,28
C - D	44,6	0,009	12,87	48,27	8,51	0,8	0,975	49,51	0,04	0,100	0,005	0,676	0,019	0,140	0,480	0,32
d1 - d4	23	0,02	0,84	3,37	0,54	0,8	0,975	3,45	0,02	0,100	0,005	0,676	0,001	0,070	0,390	0,26
d2 - d3	25	0,009	1,20	4,01	0,83	0,8	0,975	4,12	0,02	0,100	0,005	0,676	0,002	0,080	0,400	0,27
d3 - d4	12,4	0,009	2,29	7,84	1,57	0,8	0,975	8,04	0,02	0,100	0,005	0,676	0,003	0,170	0,580	0,39
d4 - d5	7	0,009	3,13	11,20	2,11	0,8	0,975	11,49	0,03	0,100	0,005	0,676	0,005	0,100	0,420	0,28
d5 - d8	5	0,009	3,49	12,77	2,33	0,8	0,975	13,09	0,03	0,100	0,005	0,676	0,005	0,100	0,420	0,28
d6 - d7	13,5	0,009	1,80	6,98	1,18	0,8	0,975	7,16	0,02	0,100	0,005	0,676	0,003	0,170	0,580	0,39
d7 - d8	8	0,009	3,25	12,39	2,13	0,8	0,975	12,71	0,03	0,100	0,005	0,676	0,005	0,100	0,420	0,28
d8 - d9	4,5	0,009	6,74	25,16	4,46	0,8	0,975	25,80	0,03	0,100	0,005	0,676	0,010	0,120	0,440	0,30
d9 - d10	9	0,009	7,22	26,96	4,78	0,8	0,975	27,65	0,03	0,100	0,005	0,676	0,010	0,120	0,440	0,30
d10 - d13	13	0,009	7,82	28,98	5,20	0,8	0,975	29,72	0,04	0,100	0,005	0,676	0,011	0,125	0,450	0,30
d11 - d12	9,6	0,009	1,80	6,98	1,18	0,8	0,975	7,16	0,02	0,100	0,005	0,676	0,003	0,170	0,580	0,39
d12 - d13	6	0,009	2,41	9,81	1,54	0,8	0,975	10,07	0,02	0,100	0,005	0,676	0,003	0,170	0,580	0,39

Pipa	Panjang (m)	Slope	Qr (m ³ /hari)	Qpeak (m ³ /hari)	Qmin (m ³ /hari)	d/D	Qpeak/Qfull	Qfull (m ³ /hari)	D Hitung (m)	D Apply (m)	Qfull (m ³ /s)	Vfull (m/s)	Qmin/Qfull	dmin/D	Vmin/Vfull	Vmin (m/s)
d13 - d14	15,8	0,009	11,07	42,16	7,28	0,8	0,975	43,24	0,04	0,100	0,005	0,676	0,016	0,125	0,450	0,30
d14 - D	22,5	0,009	11,91	45,53	7,82	0,8	0,975	46,70	0,04	0,100	0,005	0,676	0,017	0,130	0,460	0,31
D - e1	6	0,009	24,78	93,80	16,33	0,8	0,975	96,20	0,06	0,100	0,005	0,676	0,036	0,160	0,560	0,38
e1 - e2	22	0,009	25,26	95,60	16,65	0,8	0,975	98,05	0,06	0,100	0,005	0,676	0,036	0,160	0,560	0,38
e2 - e3	14	0,009	26,23	99,21	17,29	0,8	0,975	101,76	0,06	0,100	0,005	0,676	0,038	0,160	0,560	0,38
e3 - E	15,2	0,009	27,07	102,58	17,83	0,8	0,975	105,21	0,06	0,100	0,005	0,676	0,039	0,160	0,560	0,38
e4 - e5	19,6	0,009	1,32	4,23	0,93	0,8	0,975	4,34	0,02	0,100	0,005	0,676	0,002	0,080	0,400	0,27
e5 - e6	24	0,009	2,65	9,40	1,79	0,8	0,975	9,64	0,02	0,100	0,005	0,676	0,004	0,095	0,415	0,28
e6 - E	20,8	0,009	2,65	9,40	1,79	0,8	0,975	9,64	0,02	0,100	0,005	0,676	0,004	0,095	0,415	0,28
E - F	6	0,009	29,71	111,98	19,62	0,8	0,975	114,85	0,06	0,100	0,005	0,676	0,043	0,170	0,580	0,39
f1 - f2	18,3	0,02	1,20	4,01	0,83	0,8	0,975	4,12	0,02	0,100	0,005	0,676	0,002	0,170	0,580	0,39
f2 - F	23,7	0,02	1,56	5,58	1,06	0,8	0,975	5,72	0,02	0,100	0,005	0,676	0,002	0,080	0,400	0,27
F - G	66,3	0,009	31,28	117,56	20,68	0,8	0,975	120,57	0,06	0,100	0,005	0,676	0,045	0,180	0,580	0,39
G - IPAL	6	0,009	31,28	117,56	20,68	0,8	0,975	120,57	0,06	0,100	0,005	0,676	0,045	0,180	0,580	0,39

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. 3 Data Kedalaman Penanaman Pipa Pengumpul SPALD-S

No.	Jalur Pipa	Panjang Pipa (m)	Elevasi Medan		Slope pipa	HL	D pipa	Elevasi Atas Pipa(m)		Elevasi Bawah Pipa (m)		Pondasi Pasir bawah	Kedalaman Penanaman (m)	
			awal	akhir		m		Awal	Akhir	Awal	Akhir		Awal	Akhir
1	a1 - a2	17	41,76	41,76	0,01	0,17	0,100	41,16	40,99	41,06	40,89	0,10	0,80	0,97
2	a2 - A	9,5	41,76	41,45	0,01	0,10	0,100	40,99	40,89	40,89	40,79	0,10	0,97	0,76
3	a3 - A	21,5	42,37	41,45	0,04	0,86	0,100	41,77	40,91	41,67	40,81	0,10	0,80	0,75
4	A - b1	8	41,45	41,45	0,009	0,07	0,100	40,89	40,82	40,79	40,72	0,10	0,76	0,63
5	b1 - b2	9,5	41,45	41,45	0,009	0,09	0,100	40,82	40,74	40,72	40,64	0,10	0,83	0,72
6	b2 - B	12,3	41,45	41,15	0,009	0,11	0,100	40,74	40,62	40,64	40,52	0,10	0,92	0,52
7	b3 - b4	6	42,37	42,06	0,03	0,18	0,100	41,77	41,59	41,67	41,49	0,10	0,80	0,68
8	b4 - B	29,5	42,06	41,15	0,03	0,89	0,100	41,59	40,70	41,49	40,60	0,10	0,68	0,65
9	B - c1	15	41,15	41,15	0,009	0,14	0,100	40,62	40,49	40,52	40,39	0,10	0,72	0,86
10	c1 - c2	22,3	41,15	41,15	0,009	0,20	0,100	40,49	40,29	40,39	40,19	0,10	0,86	1,06
11	c2 - c3	10,7	41,15	41,15	0,009	0,10	0,100	40,29	40,19	40,19	40,09	0,10	1,06	1,16
12	c3 - C	11,6	41,15	41,15	0,009	0,10	0,100	40,19	40,09	40,09	39,99	0,10	1,16	1,26
13	c4 - c5	11	41,76	41,45	0,01	0,11	0,100	41,16	41,05	41,06	40,95	0,10	0,80	0,61
14	c5 - c7	12,6	41,45	41,45	0,01	0,13	0,100	41,05	40,92	40,95	40,82	0,10	0,61	0,73
15	c6 - c7	12,6	41,76	41,45	0,02	0,25	0,100	41,16	40,91	41,06	40,81	0,10	0,80	0,75
16	c7 - c8	9	41,45	41,45	0,02	0,18	0,100	40,91	40,73	40,81	40,63	0,10	0,75	0,93
17	c8 - C	26,2	41,45	41,15	0,02	0,52	0,100	40,73	40,20	40,63	40,10	0,10	0,93	1,15
18	C - D	44,6	41,15	40,84	0,009	0,40	0,100	40,09	39,69	39,99	39,59	0,10	1,26	1,36
19	d1 - d4	23	41,45	41,15	0,02	0,46	0,100	40,85	40,39	40,75	40,29	0,10	0,80	0,96
20	d2 - d3	25	41,15	41,15	0,009	0,23	0,100	40,55	40,32	40,45	40,22	0,10	0,80	1,03
21	d3 - d4	12,4	41,15	41,15	0,009	0,11	0,100	40,32	40,21	40,22	40,11	0,10	1,03	1,14
22	d4 - d5	7	41,15	40,84	0,009	0,06	0,100	40,21	40,15	40,11	40,05	0,10	1,14	0,89
23	d5 - d8	5	40,84	40,84	0,009	0,05	0,100	40,15	40,10	40,05	40,00	0,10	0,89	0,94
24	d6 - d7	13,5	40,84	40,84	0,009	0,12	0,100	40,24	40,12	40,14	40,02	0,10	0,80	0,92
25	d7 - d8	8	40,84	40,84	0,009	0,07	0,100	40,12	40,05	40,02	39,95	0,10	0,92	0,99
26	d8 - d9	4,5	40,84	40,84	0,009	0,04	0,100	40,05	40,01	39,95	39,91	0,10	0,99	1,03
27	d9 - d10	9	40,84	40,84	0,009	0,08	0,100	40,01	39,93	39,91	39,83	0,10	1,03	1,12
28	d10 - d13	13	40,84	40,84	0,009	0,12	0,100	39,93	39,81	39,83	39,71	0,10	1,12	1,23
29	d11 - d12	9,6	40,84	40,84	0,009	0,09	0,100	40,24	40,16	40,14	40,06	0,10	0,80	0,89

No.	Jalur Pipa	Panjang Pipa	Elevasi Medan		Slope pipa	HL	D pipa	Elevasi Atas Pipa(m)		Elevasi Bawah Pipa (m)		Pondasi Pasir bawah	Kedalaman Penanaman (m)	
		(m)	awal	akhir		m	m	Awal	Akhir	Awal	Akhir		Awal	Akhir
30	d12 - d13	6	40,84	40,84	0,009	0,05	0,100	40,16	40,10	40,06	40,00	0,10	0,89	0,94
31	d13 - d14	15,8	40,84	40,84	0,009	0,14	0,100	39,81	39,67	39,71	39,57	0,10	1,23	1,37
32	d14 - D	22,5	40,84	40,84	0,009	0,20	0,100	39,67	39,47	39,57	39,37	0,10	1,37	1,58
33	D - e1	6	40,84	40,84	0,009	0,05	0,100	39,47	39,41	39,37	39,31	0,10	1,58	1,63
34	e1 - e2	22	40,84	40,54	0,009	0,20	0,100	39,41	39,21	39,31	39,11	0,10	1,63	1,52
35	e2 - e3	14	40,54	40,23	0,009	0,13	0,100	39,21	39,09	39,11	38,99	0,10	1,52	1,35
36	e3 - E	15,2	40,23	40,23	0,009	0,14	0,100	39,09	38,95	38,99	38,85	0,10	1,35	1,48
37	e4 - e5	19,6	39,93	39,93	0,009	0,18	0,100	39,33	39,15	39,23	39,05	0,10	0,80	0,98
38	e5 - e6	24	39,93	39,93	0,009	0,22	0,100	39,15	38,94	39,05	38,84	0,10	0,98	1,19
39	e6 - E	20,8	39,93	40,23	0,009	0,19	0,100	38,94	38,75	38,84	38,65	0,10	1,19	1,68
40	E - F	6	40,23	40,23	0,009	0,05	0,100	38,75	38,70	38,65	38,60	0,10	1,68	1,74
41	f1 - f2	18,3	39,93	39,93	0,02	0,37	0,100	39,33	38,96	39,23	38,86	0,10	0,80	1,17
42	f2 - F	23,7	39,93	39,93	0,02	0,47	0,100	38,96	38,49	38,86	38,39	0,10	1,17	1,64
43	F - G	66,3	40,23	39,32	0,009	0,60	0,100	38,70	38,10	38,60	38,00	0,10	1,74	1,42
44	G - IPAL	6	39,32	39,01	0,009	0,05	0,100	38,10	38,04	38,00	37,94	0,10	1,42	1,17

Sumber: Hasil Perhitungan



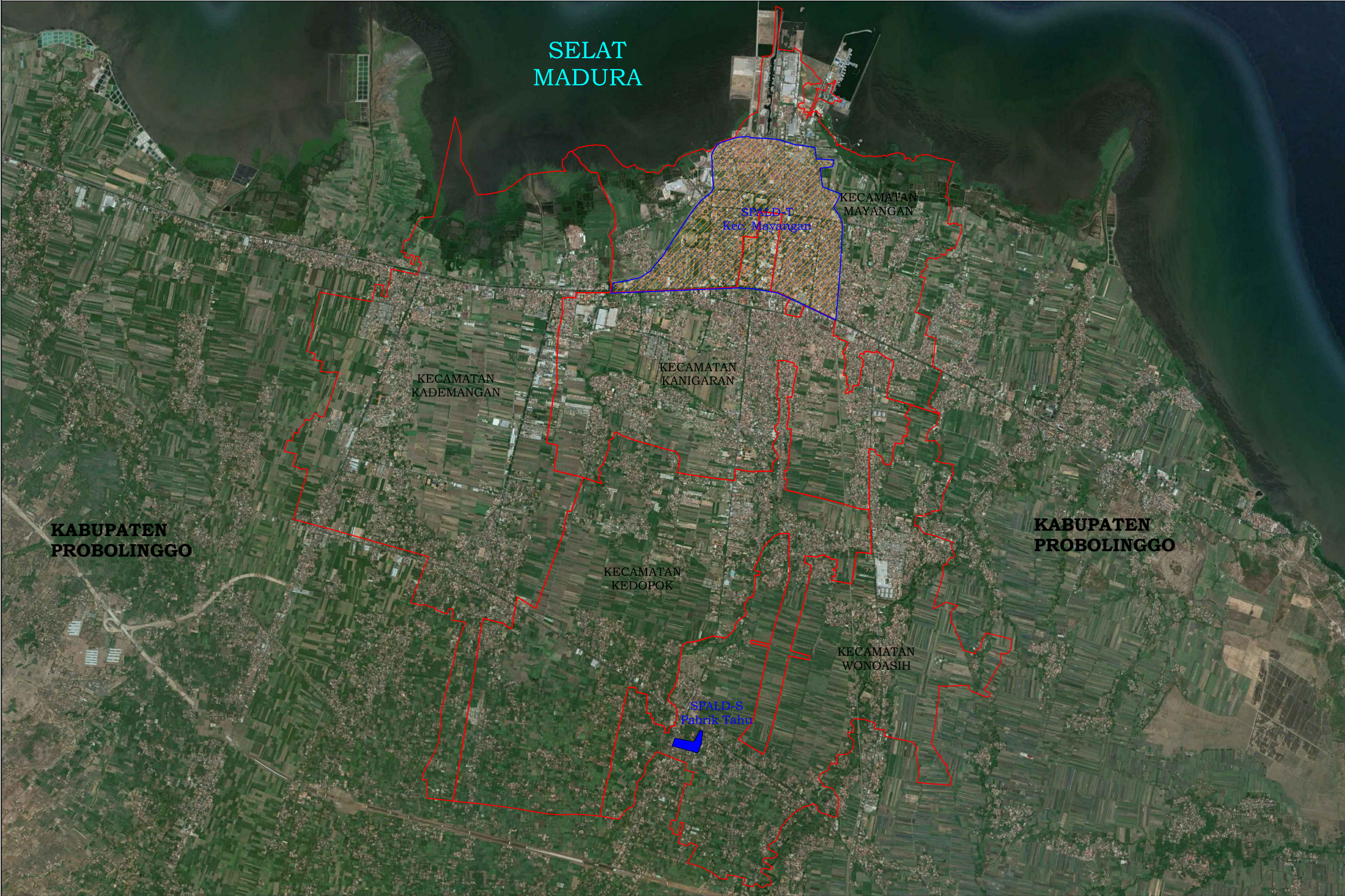
TUGAS AKHIR - RE 141581

**PERENCANAAN SISTEM PENYALURAN AIR LIMBAH DOMESTIK DAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR
LIMBAH INDUSTRI TAHU DI KOTA PROBOLINGGO**

ARIF GEMARDI
03211440000080

Dosen Pembimbing
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



DEPARTEMEN
Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR
Letak Wilayah
Perencanaan SPALD-T
dan SPALD-S

NAMA
Arif Gemardi
03211440000080

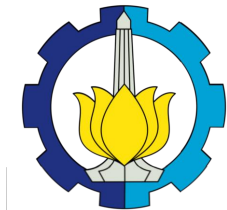
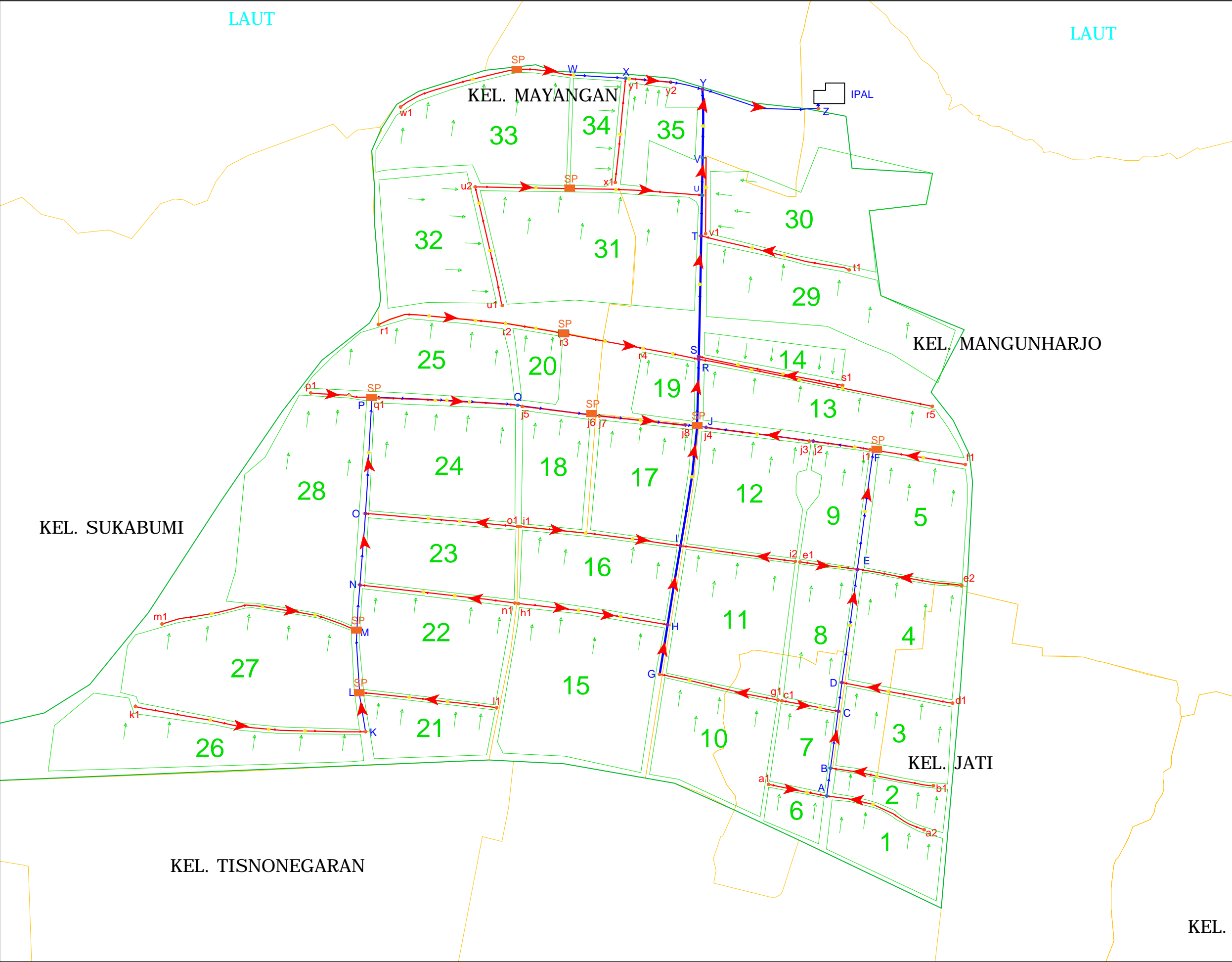
DOSEN PEMBIMBING
Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

- LEGENDA**
- Batas Kecamatan
 - Wilayah Perencanaan SPALD-S
 - Wilayah Perencanaan SPALD-T

SKALA	NO.GAMBAR
1 : 50000	01



DEPARTEMEN	
Teknik Lingkungan FTSLK - ITS 2018	
TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN	
JUDUL GAMBAR	
Wilayah Perencanaan SPALD-T Kecamatan Mayangan	
NAMA	
Arif Gemardi 03211440000080	
DOSEN PEMBIMBING	
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.	
LEGENDA	
<div><div></div> Batas Kelurahan</div> <div><div></div> Wilayah Perencanaan SPALD-T</div> <div><div></div> Letak IPAL</div>	
SKALA	NO.GAMBAR
1 : 15000	02



DEPARTEMEN	
Teknik Lingkungan FTSLK - ITS 2018	
TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN	
JUDUL GAMBAR	
Peta Pelayanan SPALD-T Kecamatan Mayangan	
NAMA	
Arif Gemardi 03211440000080	
DOSEN PEMBIMBING	
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.	
LEGENDA	
Jalan	
Pipa Primer	
Pipa Sekunder	
Batas Kelurahan	
Blok Pelayanan	
MH Belokan	
Drop Manhole	
MH Lurus	
MH Pertigaan	
MH Perempatan	
Sumur Pompa	
SKALA	NO.GAMBAR
1 : 10000	03



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Potongan Memanjang
SPALDT Saluran
Primer Terpanjang

NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA

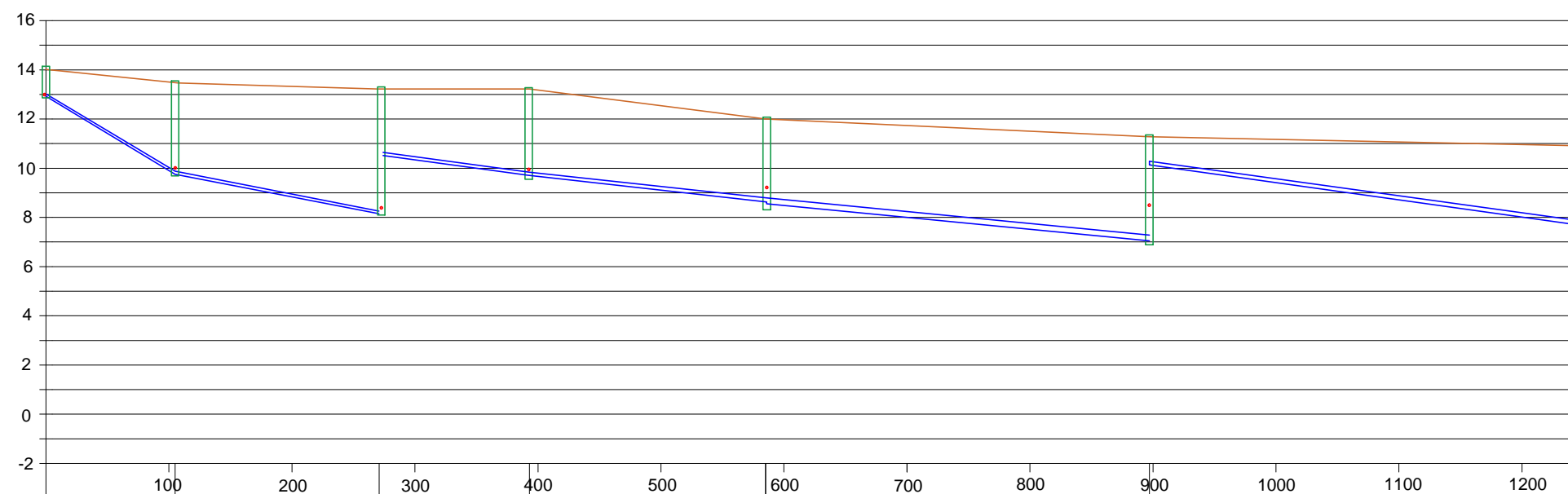
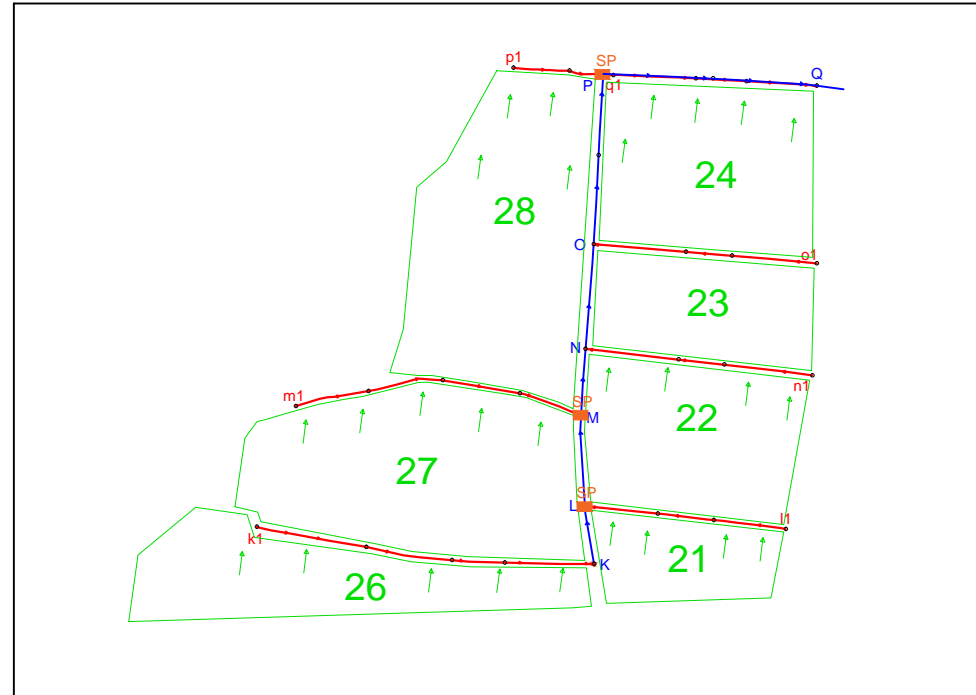
- Pipa Primer
- Muka Tanah
- Pipa Sekunder
- Manhole

SKALA

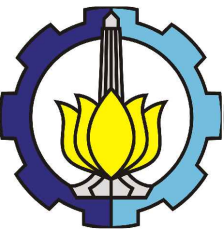
1:5.000

NO.GAMBAR

04



JALUR	K	L	M	N	O	P
Panjang Pipa (m)	105	166	122	192	312	392
Slope	0,01	0,01	0,006	0,006	0,005	0,007
Elevasi Tanah (m)	14,02	13,41	13,11	13,11	12,80	11,28
Elevasi Atas Pipa (m)	11,02	9,97	8,31	10,61	9,87	8,72
Diameter (mm)	100	100	125	125	150	150
Elevasi Bawah Pipa (m)	10,92	9,97	8,21	10,48	9,75	8,57
Manhole Lurus						
Manhole Belokan	✓					
Manhole Pertigaan		✓	✓			
Manhole Perempatan						
Drop Manhole				✓	✓	✓
Pemompaan						✓



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Potongan Memanjang
SPALDT Saluran
Primer Terpanjang

NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA

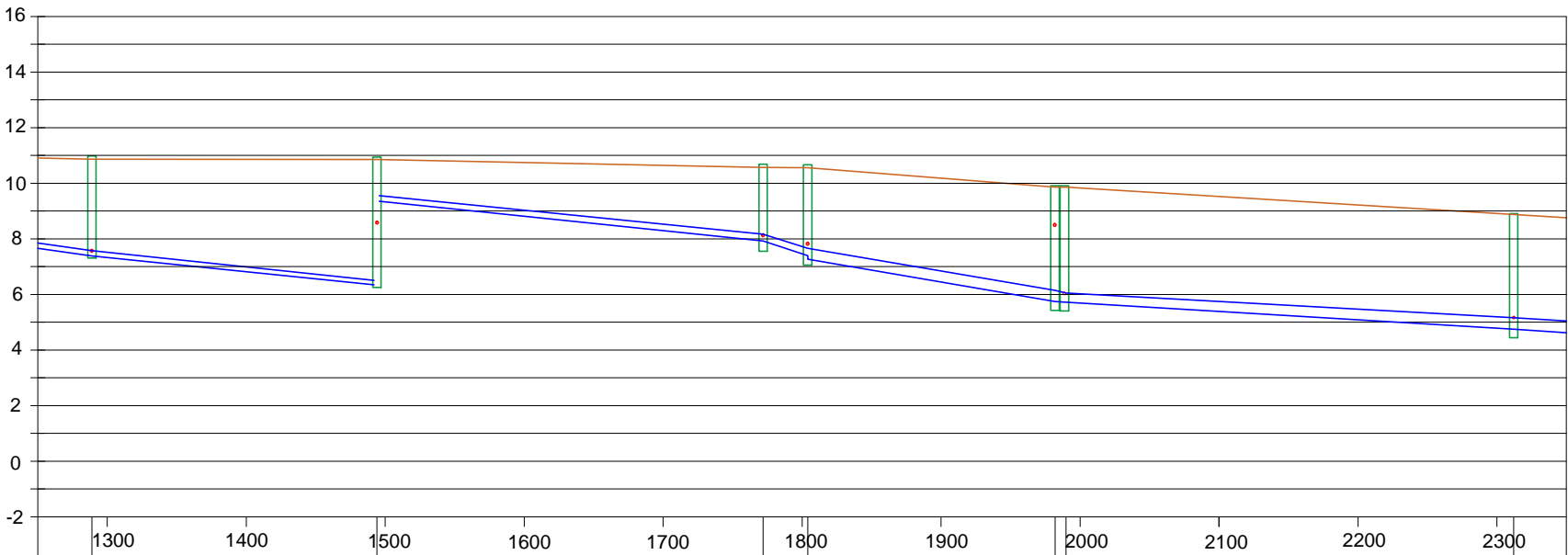
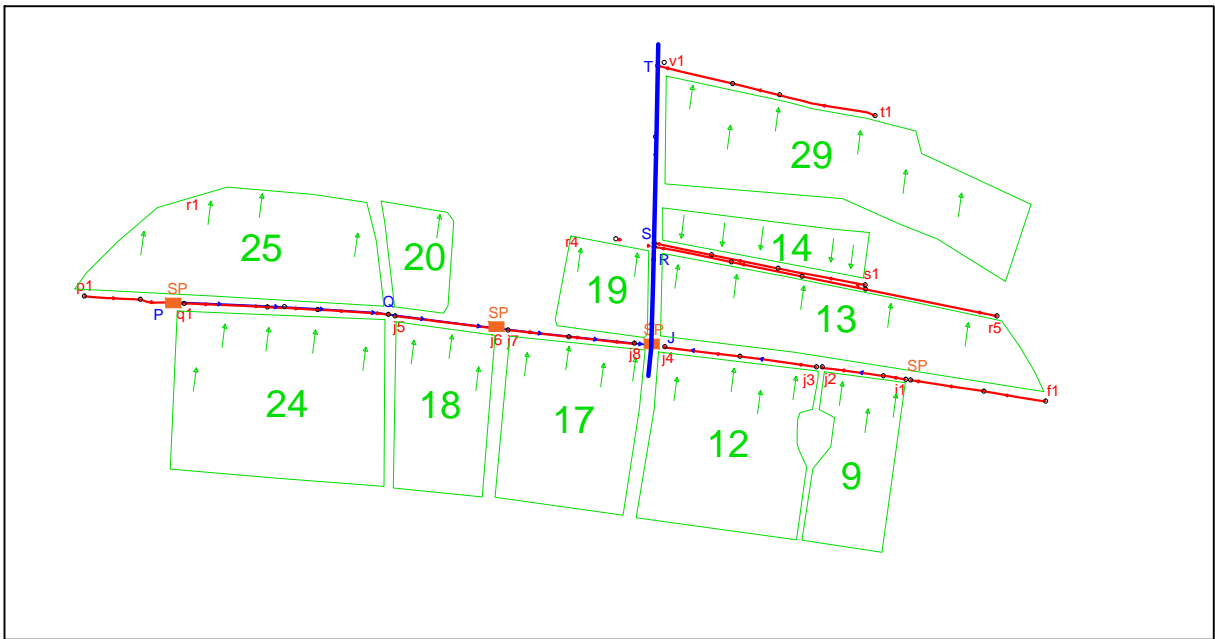
- Pipa Primer
- Muka Tanah
- Pipa Sekunder
- Manhole

SKALA

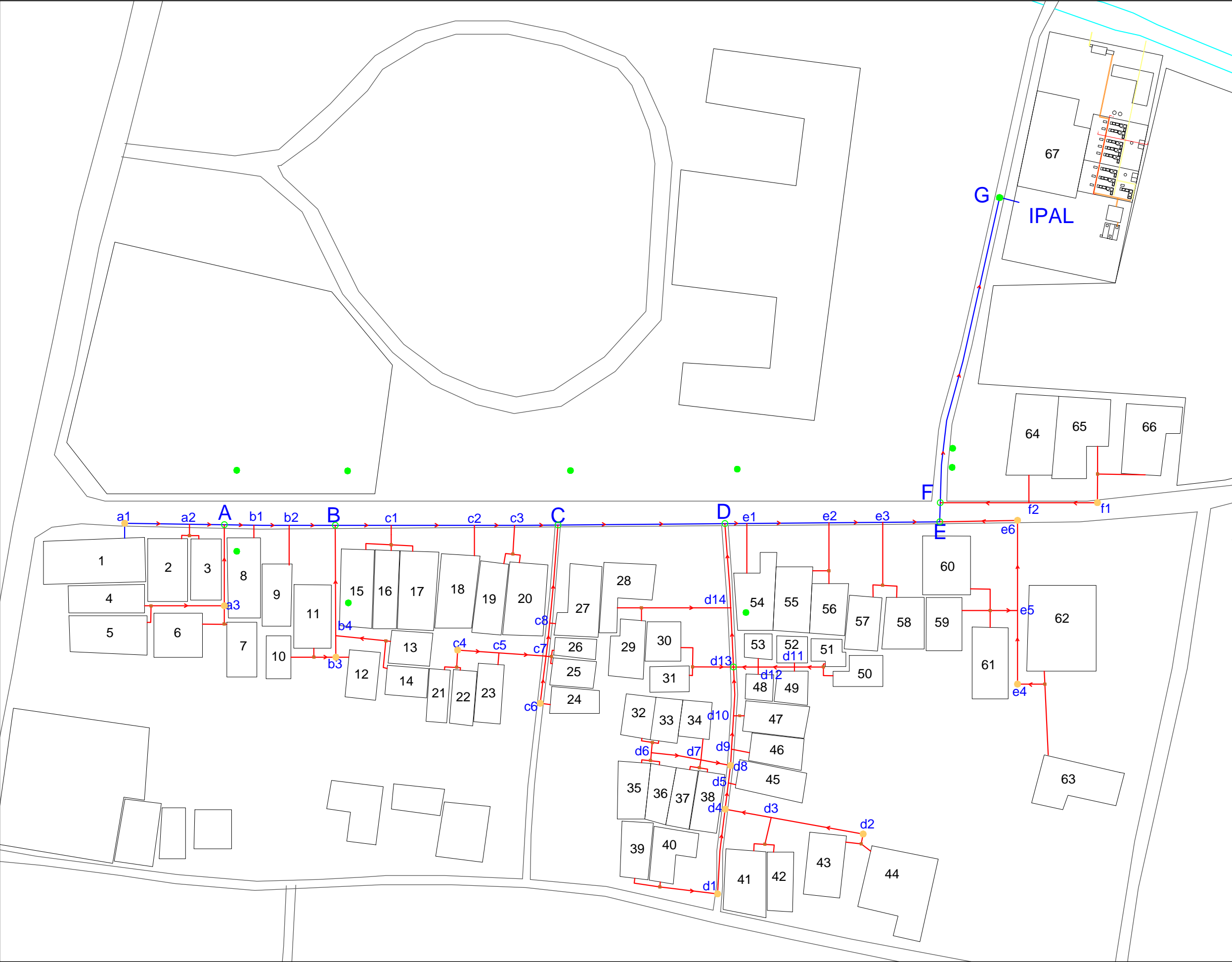
1:5.000

NO.GAMBAR

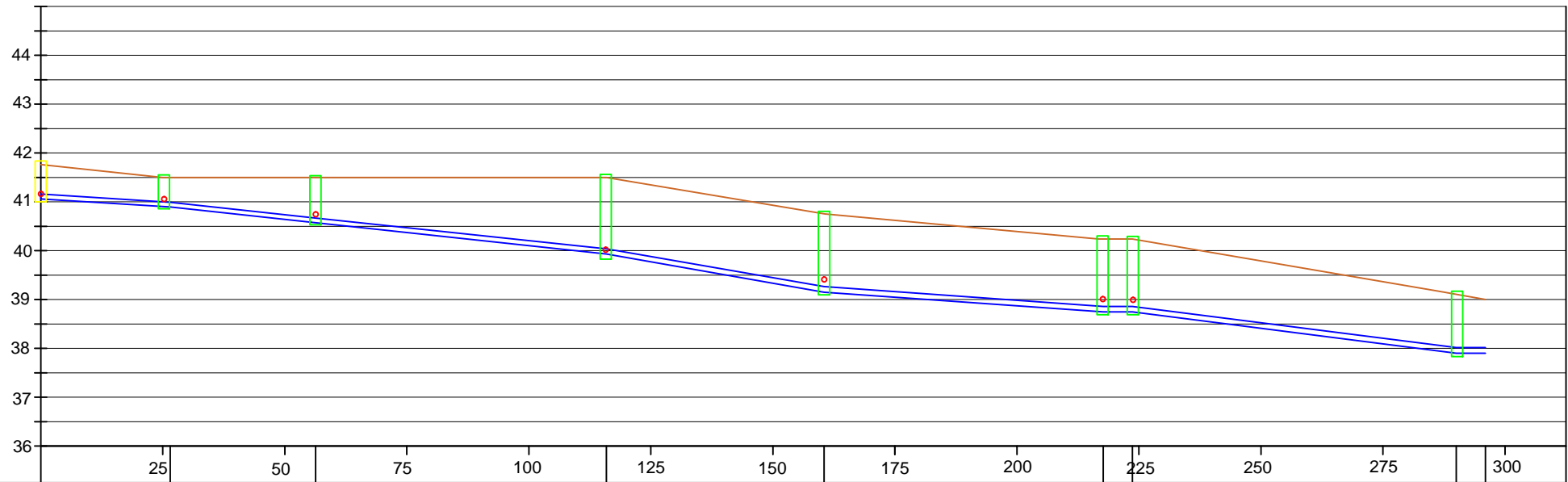
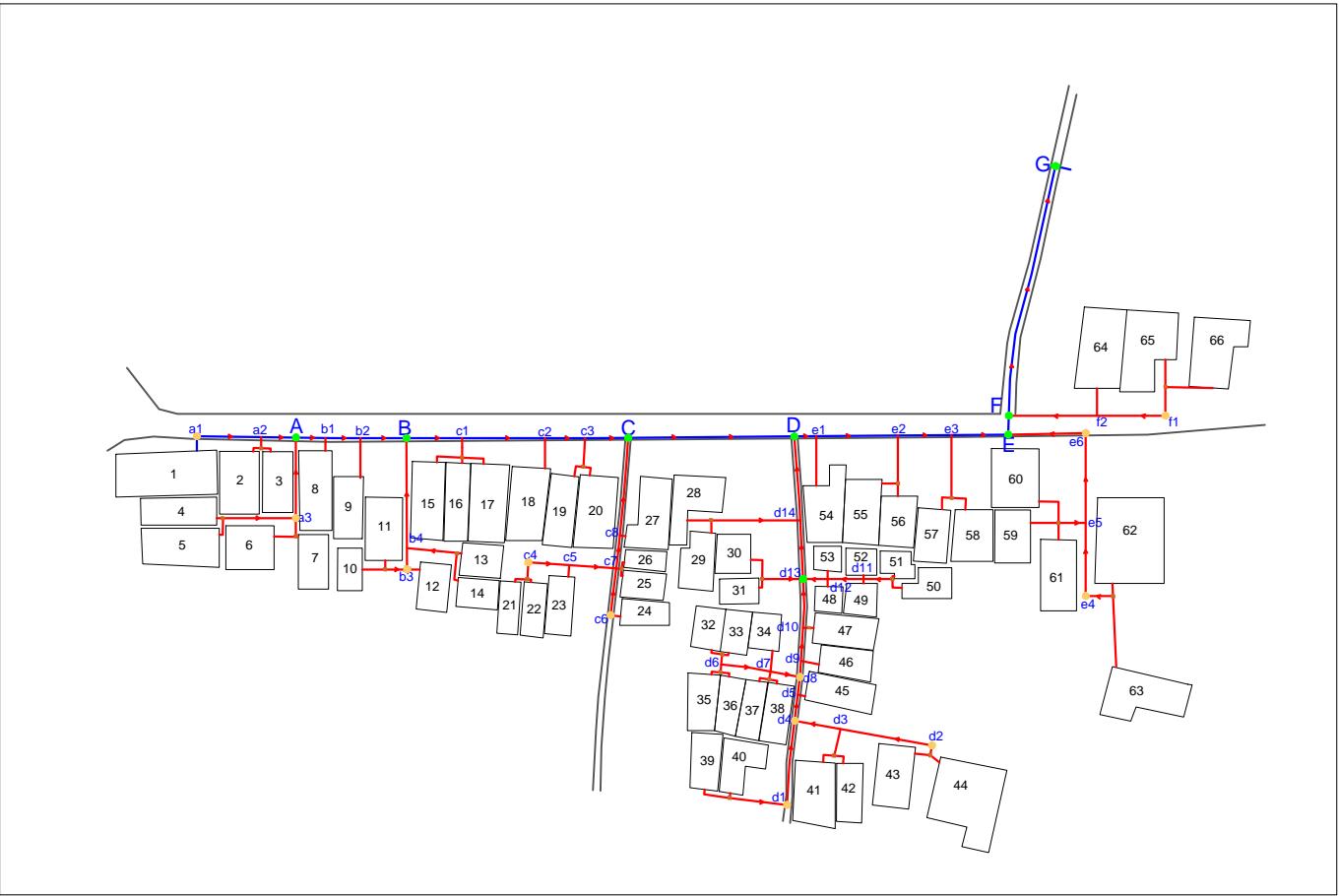
05



JALUR	Q		j6		j8 J		RS		T			
Panjang Pipa (m)	105		278		32		178		8	322		
Sloope	0,005		0,003		0,003		0,003		0,003	0,003		
Elevasi Tanah (m)	10,97		10,97		10,67		10,67		9,75	9,75	7,92	
Elevasi Atas Pipa (m)	7,53		6,51		9,67		8,00		7,67	7,13	7,11	6,14
Diameter (mm)	150				200		200		300	300		300
Elevasi Bawah Pipa (m)	7,38		6,36		9,47		7,80		7,37	6,83	6,81	5,84
Manhole Lurus												
Manhole Belokan												
Manhole Pertigaan	✓											
Manhole Perempatan												
Drop Manhole	✓											
Pemompaan	✓											

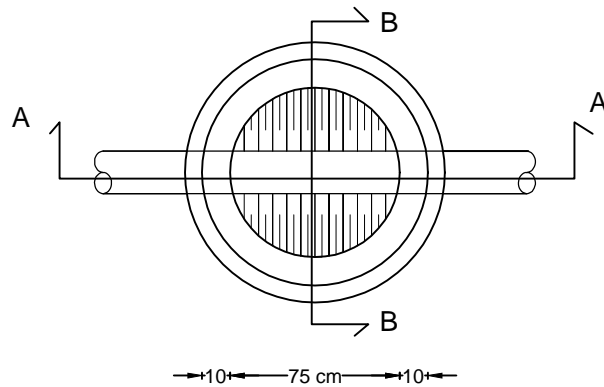


DEPARTEMEN	
Teknik Lingkungan FTSLK - ITS 2018	
TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN	
JUDUL GAMBAR	
Jaringan SPALDS	
NAMA	
Arif Gemardi 03211440000080	
DOSEN PEMBIMBING	
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.	
LEGENDA	
<div><div></div> Pipa Pengumpul Utama</div> <div><div></div> Pipa Pengumpul Cabang</div> <div><div></div> Bangunan</div> <div><div></div> Bak Kontrol</div> <div><div></div> Bak Inspeksi</div> <div><div></div> Manhole</div> <div><div></div> Jalan</div> <div><div></div> Sungai</div>	
SKALA	NO.GAMBAR
1:1000	07

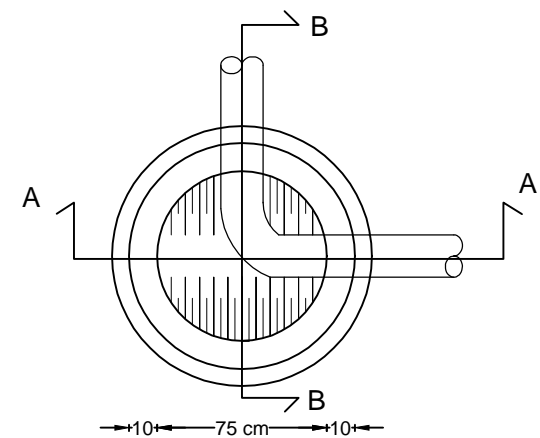


JALUR	a1	A	B	C	D	E	F	G	IPAL
Panjang Pipa (m)	26,5	29,8	59,6	392	57,2	6	72,3	6	
Sloope	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	
Elevasi Tanah (m)	41,76	41,45	41,15	41,15	40,84	40,23	40,23	39,32	39,01
Elevasi Atas Pipa (m)	41,16	40,99	40,62	40,09	39,47	38,75	38,70	38,10	38,04
Diameter (mm)	100	100	100			100	100	100	
Elevasi Bawah Pipa (m)	41,06	40,89	40,52	39,59	39,37	38,65	38,60	38,65	37,94
Manhole		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Bak Inspeksi	✓								

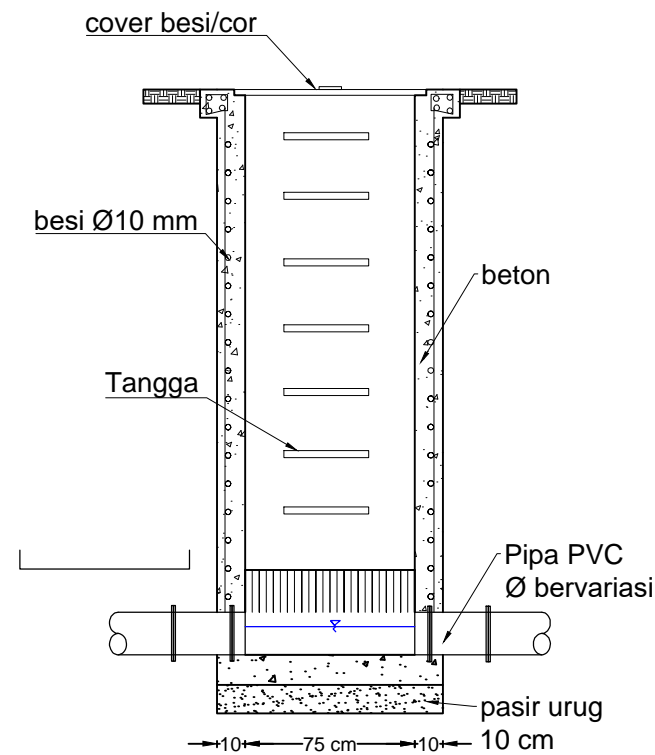
DEPARTEMEN	
Teknik Lingkungan FTSLK - ITS 2018	
TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN	
JUDUL GAMBAR	
Potongan Memanjang SPALDS Saluran Primer Terpanjang	
NAMA	
Arif Gemardi 03211440000080	
DOSEN PEMBIMBING	
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.	
LEGENDA	
<div><div></div> Pipa Primer</div> <div><div></div> Muka Tanah</div> <div><div></div> Pipa Sekunder</div> <div><div></div> Manhole</div>	
SKALA	NO.GAMBAR
1 : 1.250	08



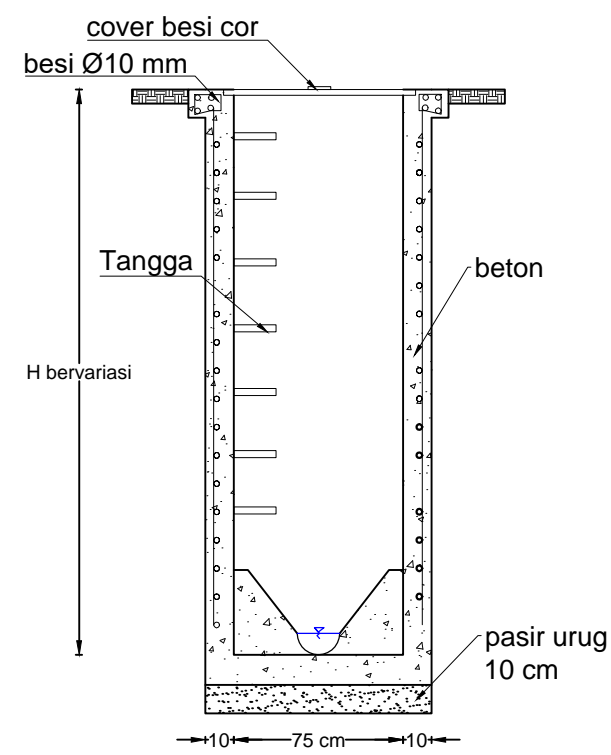
DENAH TIPIKAL MANHOLE (LURUS)
SKALA 1:25



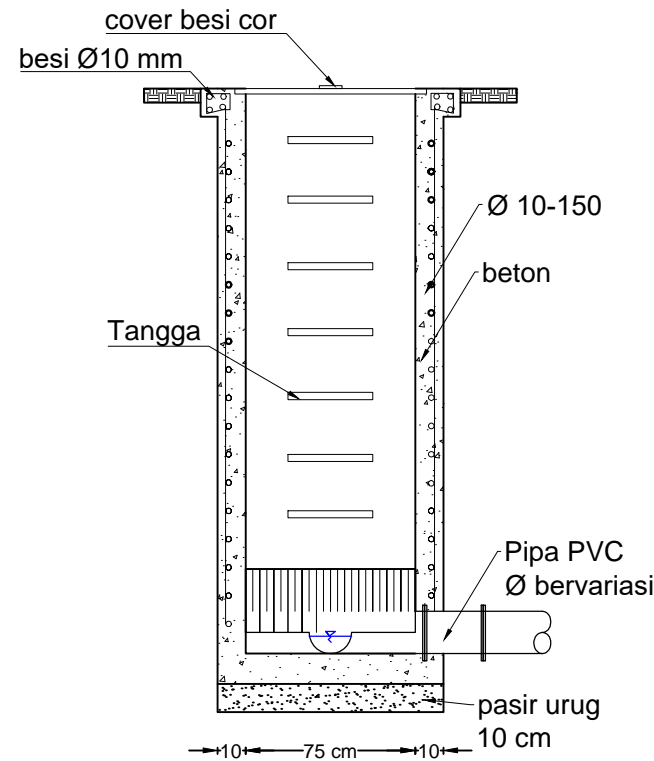
DENAH TIPIKAL MANHOLE (BELOKAN)
SKALA 1:25



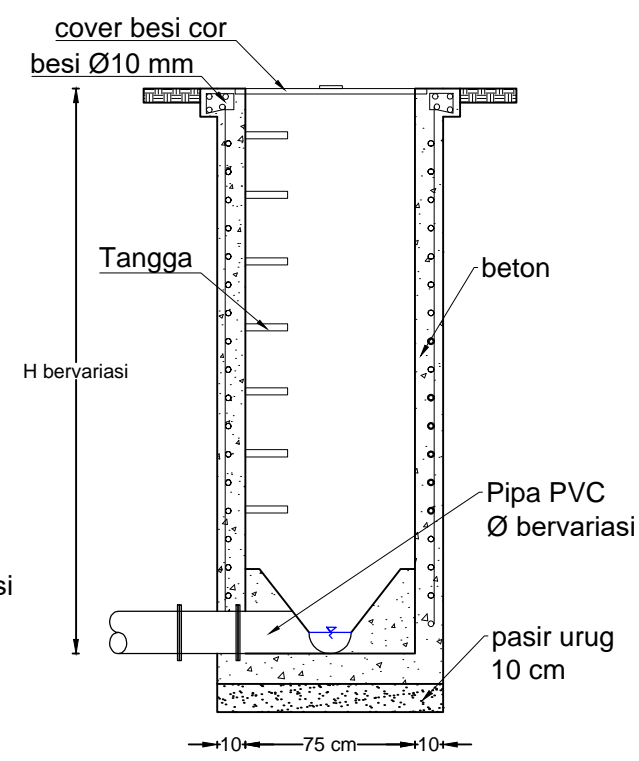
POTONGAN A-A
SKALA 1:25



POTONGAN B-B
SKALA 1:25



POTONGAN A-A
SKALA 1:25



POTONGAN B-B
SKALA 1:25



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Tipikal Manhole
Lurus dan Belokan

NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

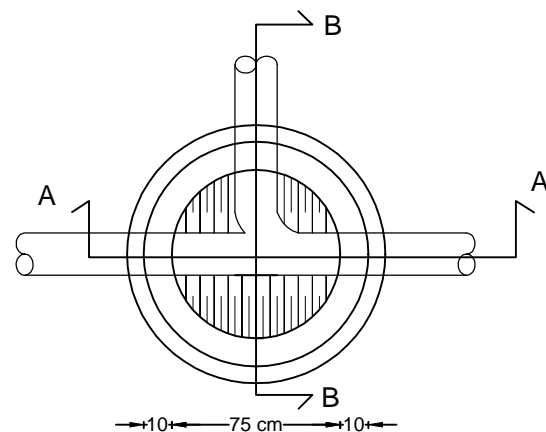
LEGENDA

- Pasir Urug
- Beton Bertulang
- Muka Tanah

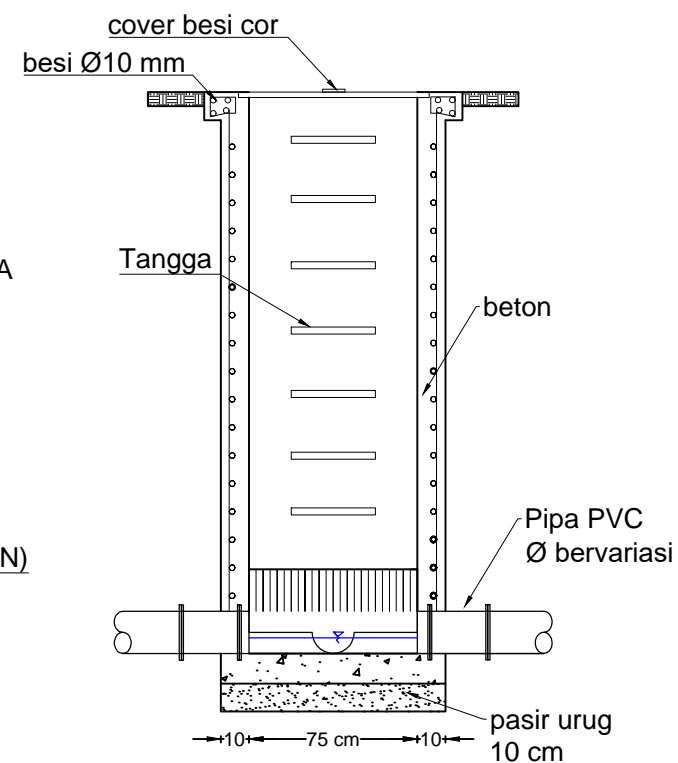
SKALA

NO.GAMBAR

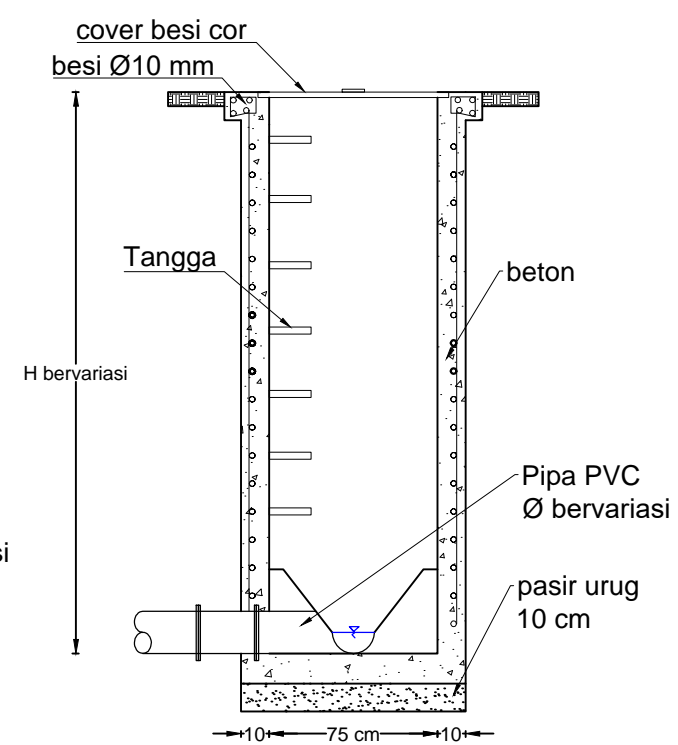
09



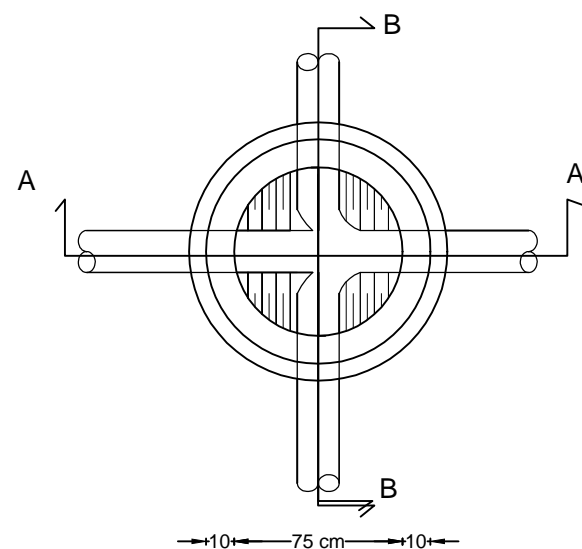
DENAH TIPIKAL MANHOLE (PERTIGAAN)
SKALA 1:25



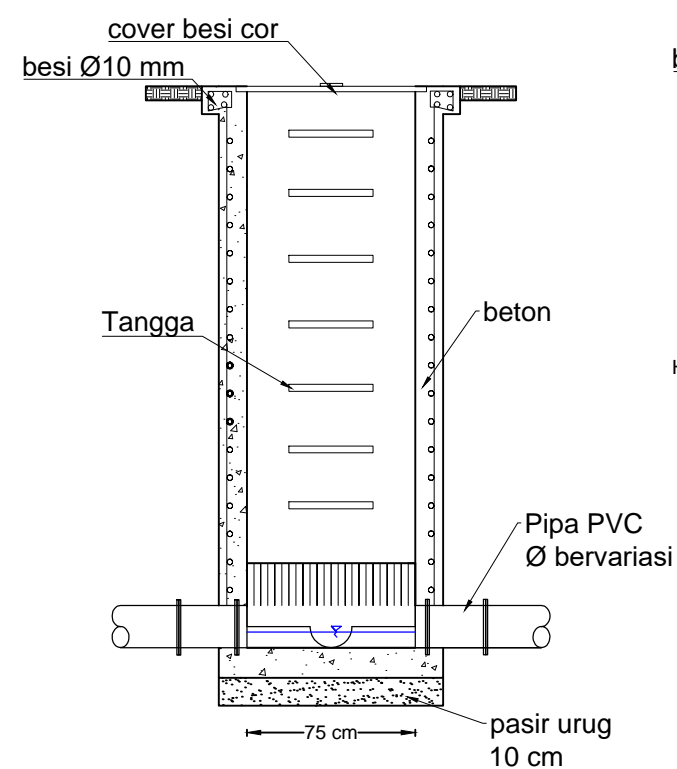
POTONGAN A-A
SKALA 1:25



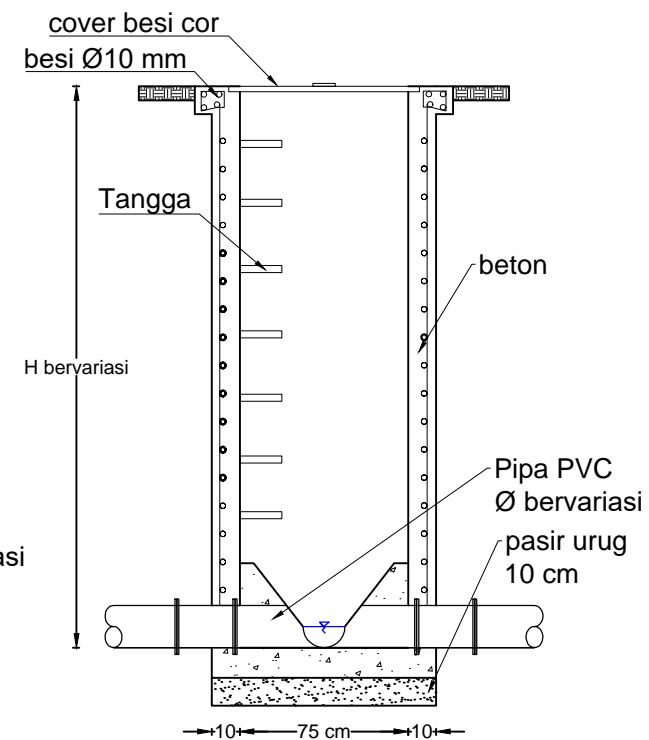
POTONGAN B-B
SKALA 1:25



DENAH TIPIKAL MANHOLE (PEREMPATAN)
SKALA 1:25



POTONGAN A-A
SKALA 1:25



POTONGAN B-B
SKALA 1:25



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Tipikal Manhole
Pertigaan dan Perempatan

NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

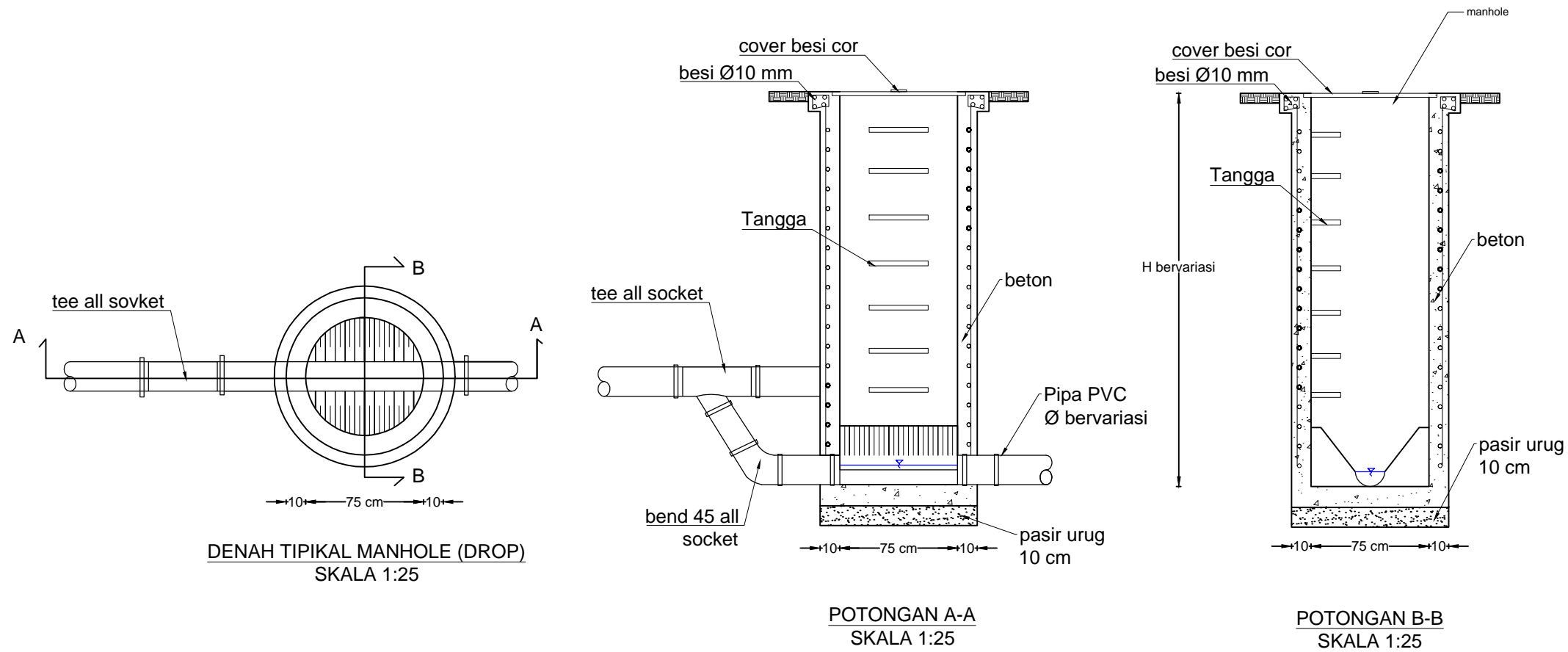
LEGENDA

- Pasir Urug
- Beton Bertulang
- Muka Tanah

SKALA

NO.GAMBAR

10



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Tipikal Drop Manhole




NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA

-  Pasir Urug
-  Beton Bertulang
-  Muka Tanah

SKALA

NO.GAMBAR

11



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Bak Kontrol dan
Bak Inspeksi


NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

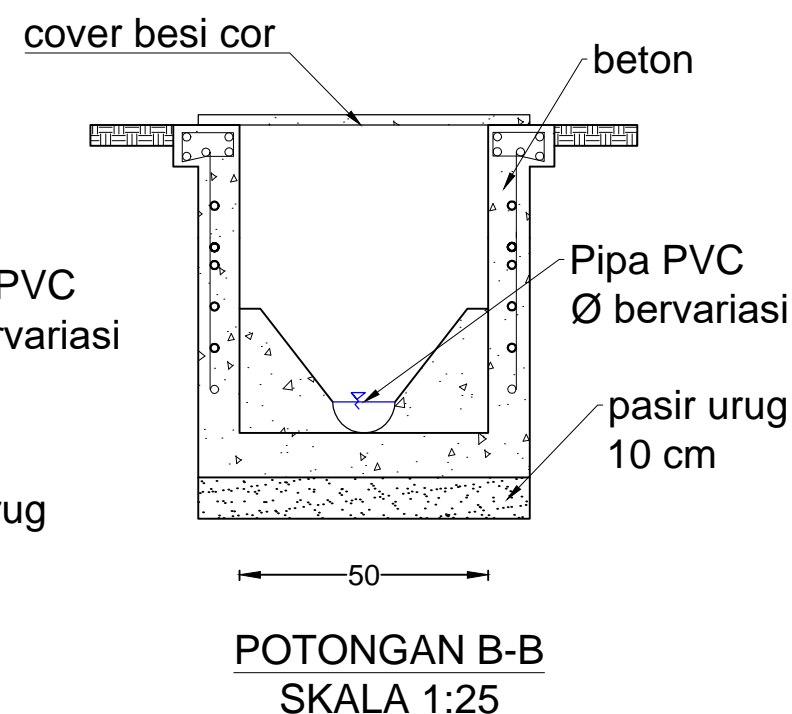
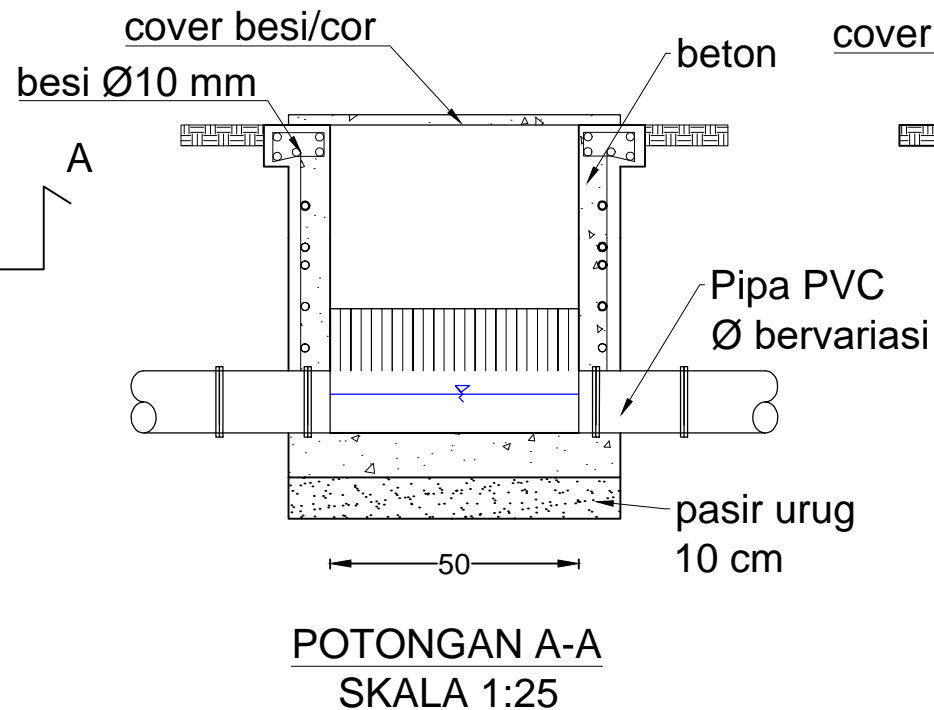
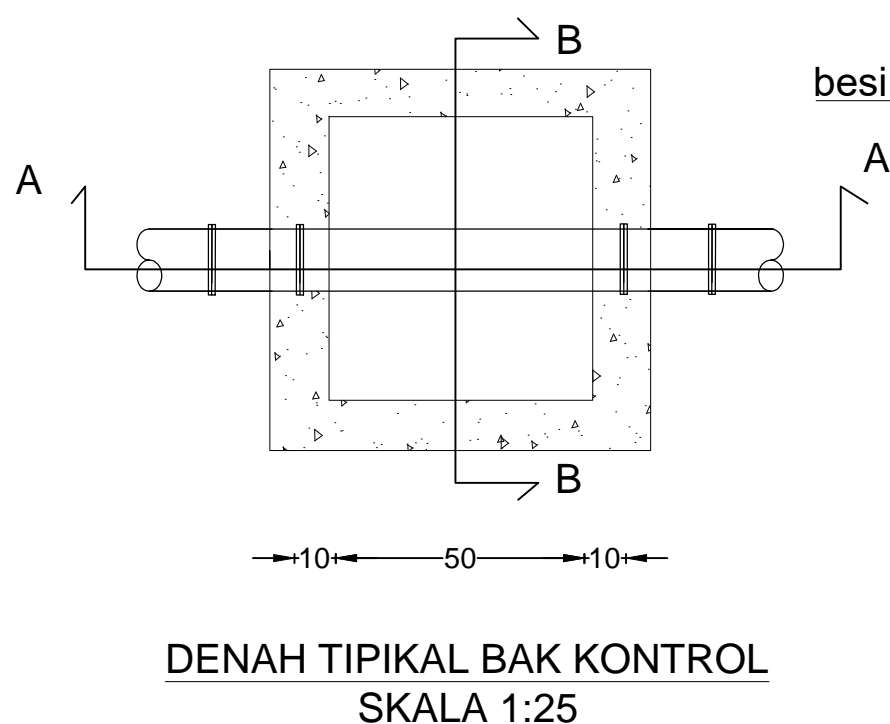
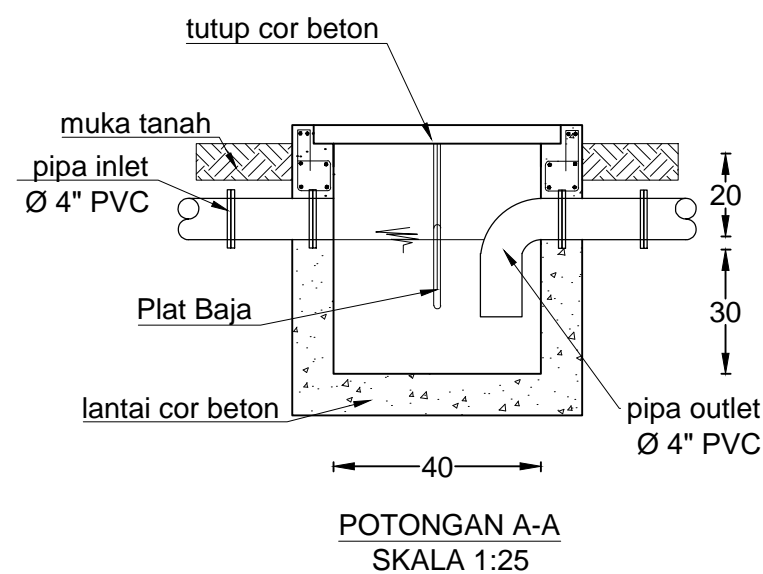
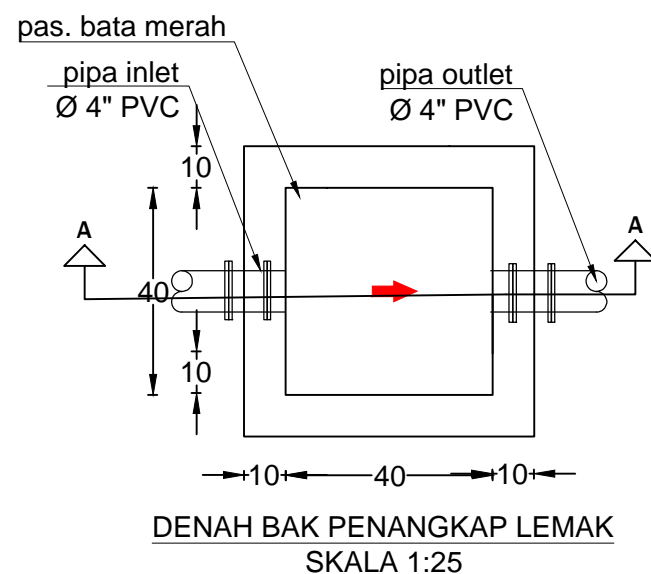
LEGENDA

-  Pasir Urug
-  Beton Bertulang
-  Muka Tanah

SKALA

NO.GAMBAR

12





DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Tipikal Stasiun Pompa




NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA

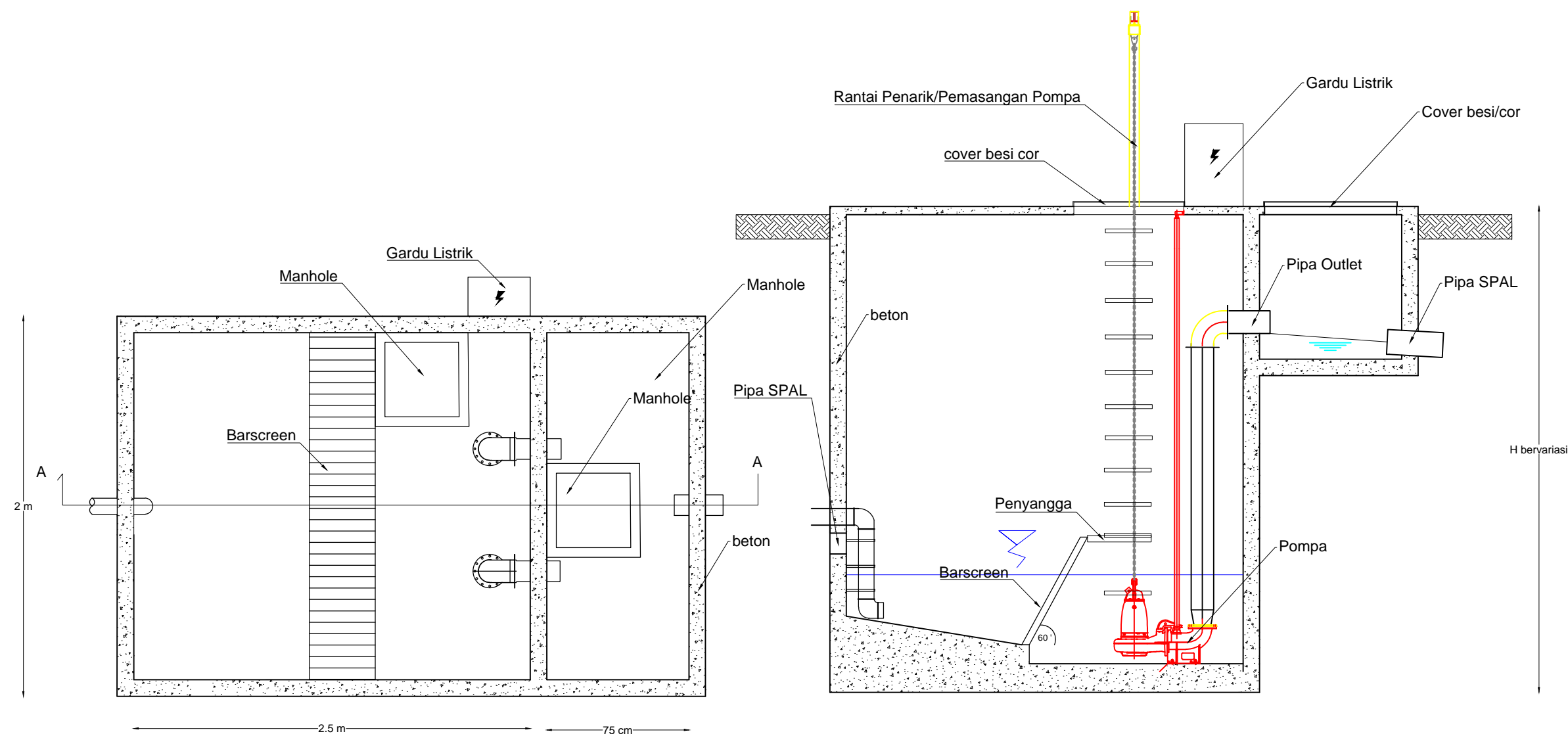
-  Pasir Urug
-  Beton Bertulang
-  Muka Tanah

SKALA

1:30

NO.GAMBAR

13



DENAH TIPIKAL STASIUN POMPA

POTONGAN A-A



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Layout SR

NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA

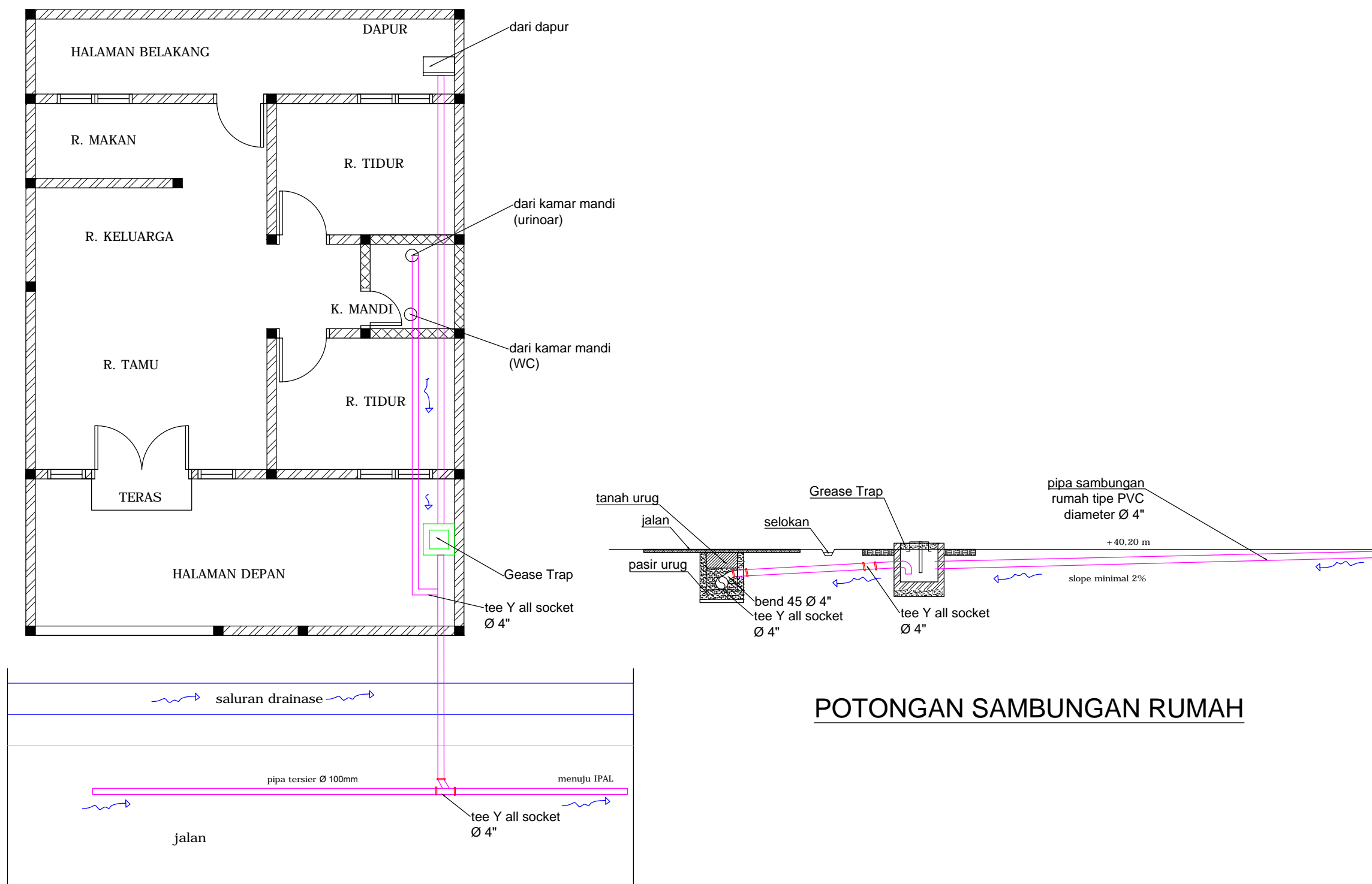
- Pasangan Bata
- Beton Bertulang
- Tanah
- Pasir Urug

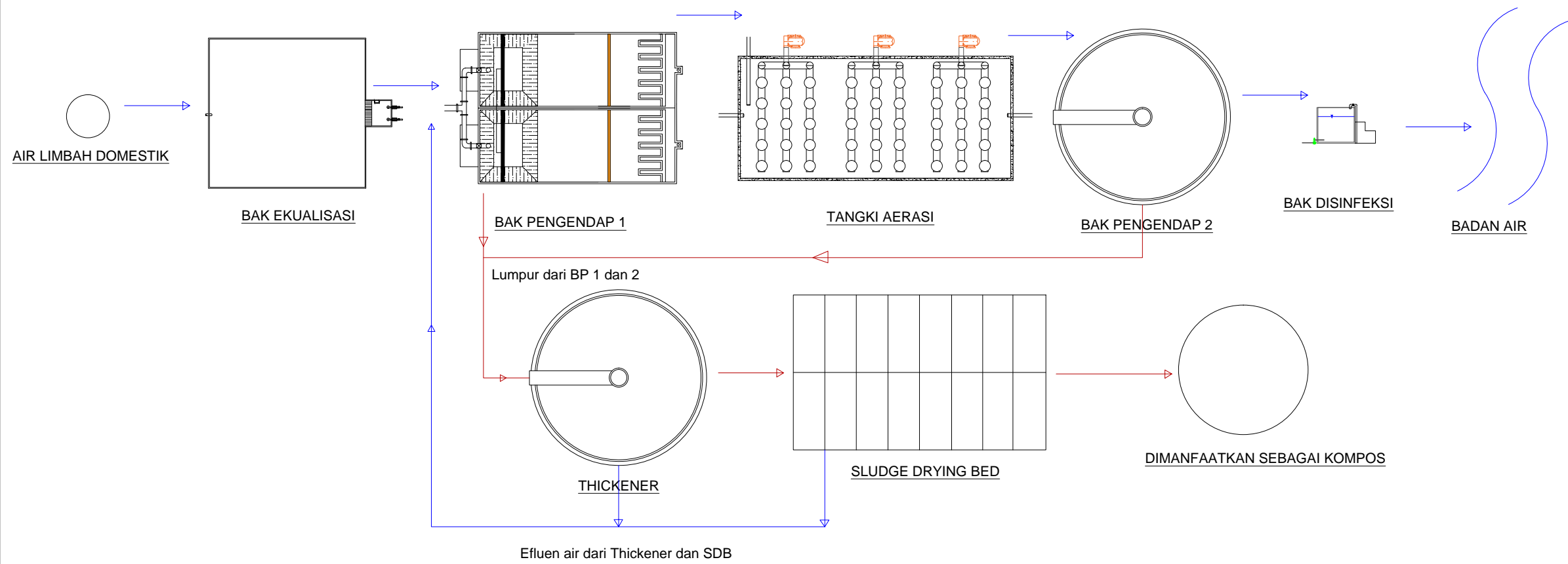
SKALA

1 : 75

NO.GAMBAR

14





DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Diagram Alir
IPALDT

NAMA

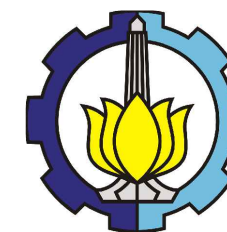
Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA

SKALA	NO.GAMBAR
Tanpa Skala	15



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Denah IPALDT

NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA

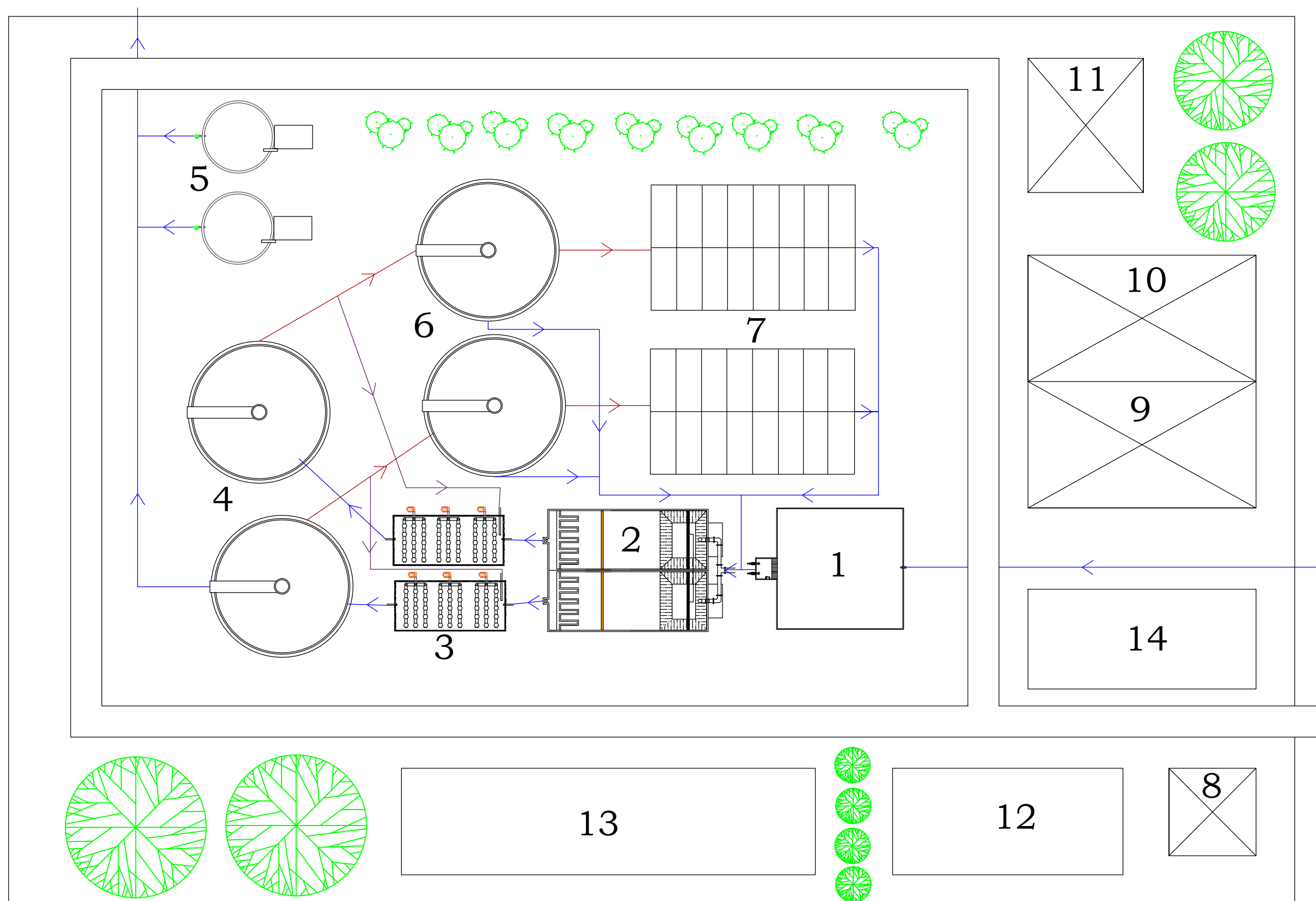
1. Bak Ekualisasi
 2. Bak Pengendap 1
 3. Tangki Aerasi
 4. Bak Pengendap 2
 5. Bak Disinfeksi
 6. Thickener
 7. Sludge Drying Bed
 8. Pos Jaga
 9. Kantor
 10. Laboratorium
 11. Gudang
 12. Parkir
 13. Parkir alat berat
 14. Lapangan terbuka
- Aliran Air Limbah
— Aliran Lumpur
— Aliran Resirkulasi Lumpur

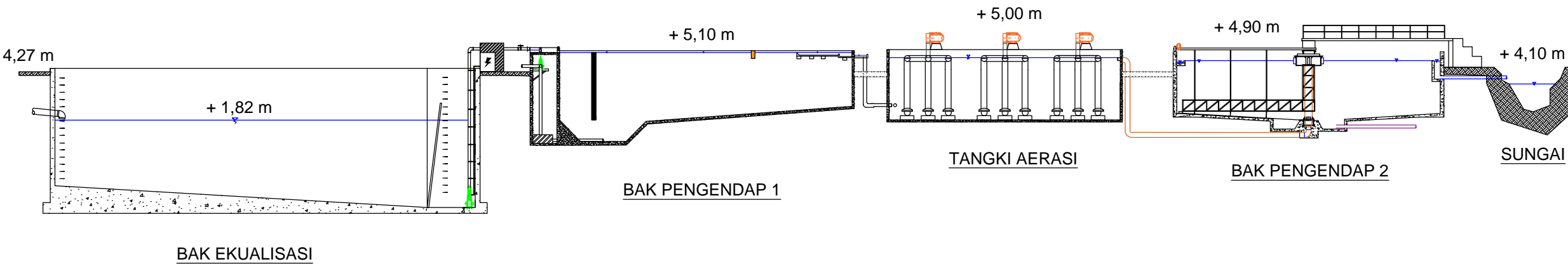
SKALA

1:600

NO.GAMBAR

16





DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Profil Hidrolis
IPALDT

NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

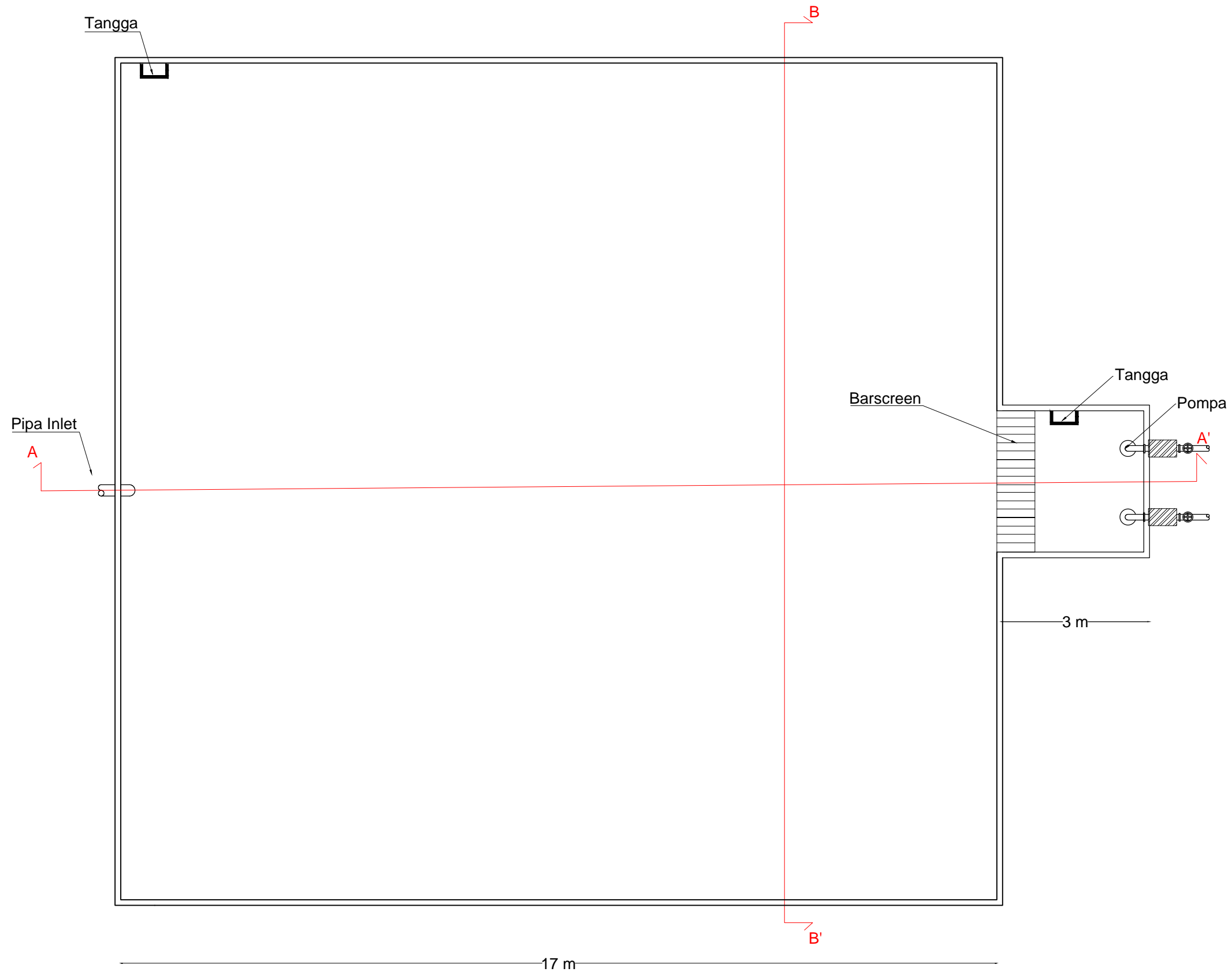
LEGENDA

SKALA

1:200

NO.GAMBAR

17



DENAH BAK EKUALISASI



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Bak Ekualisasi




NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA

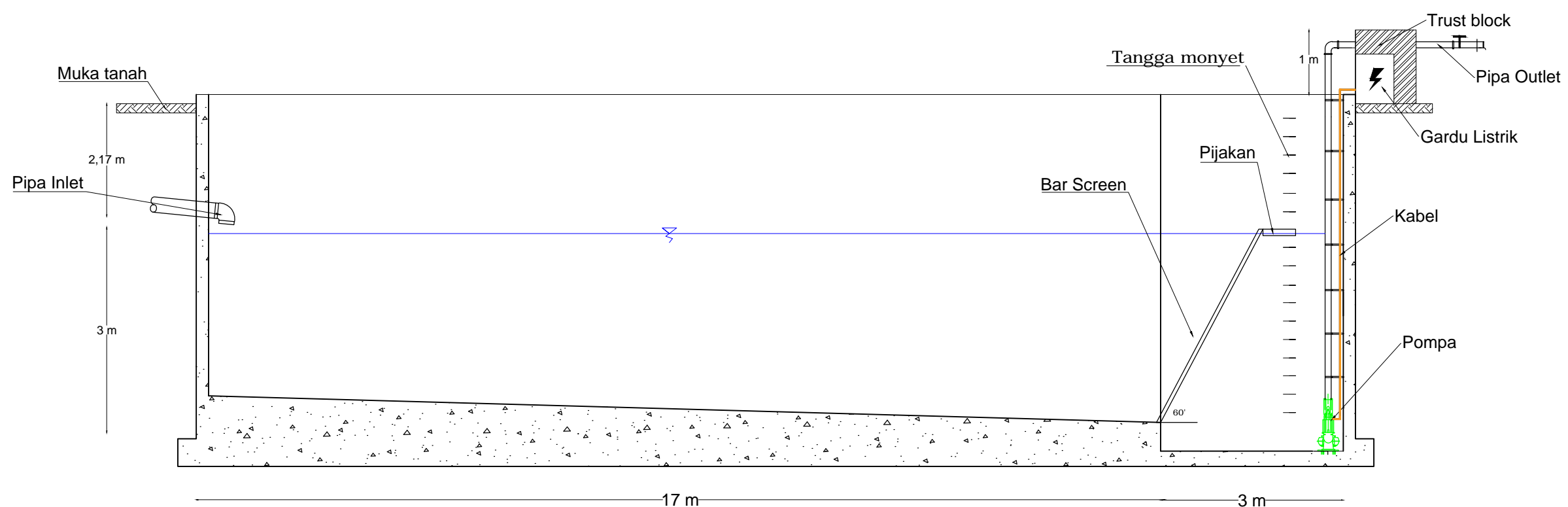
-  Trust block
-  Beton Bertulang
-  Muka Tanah

SKALA

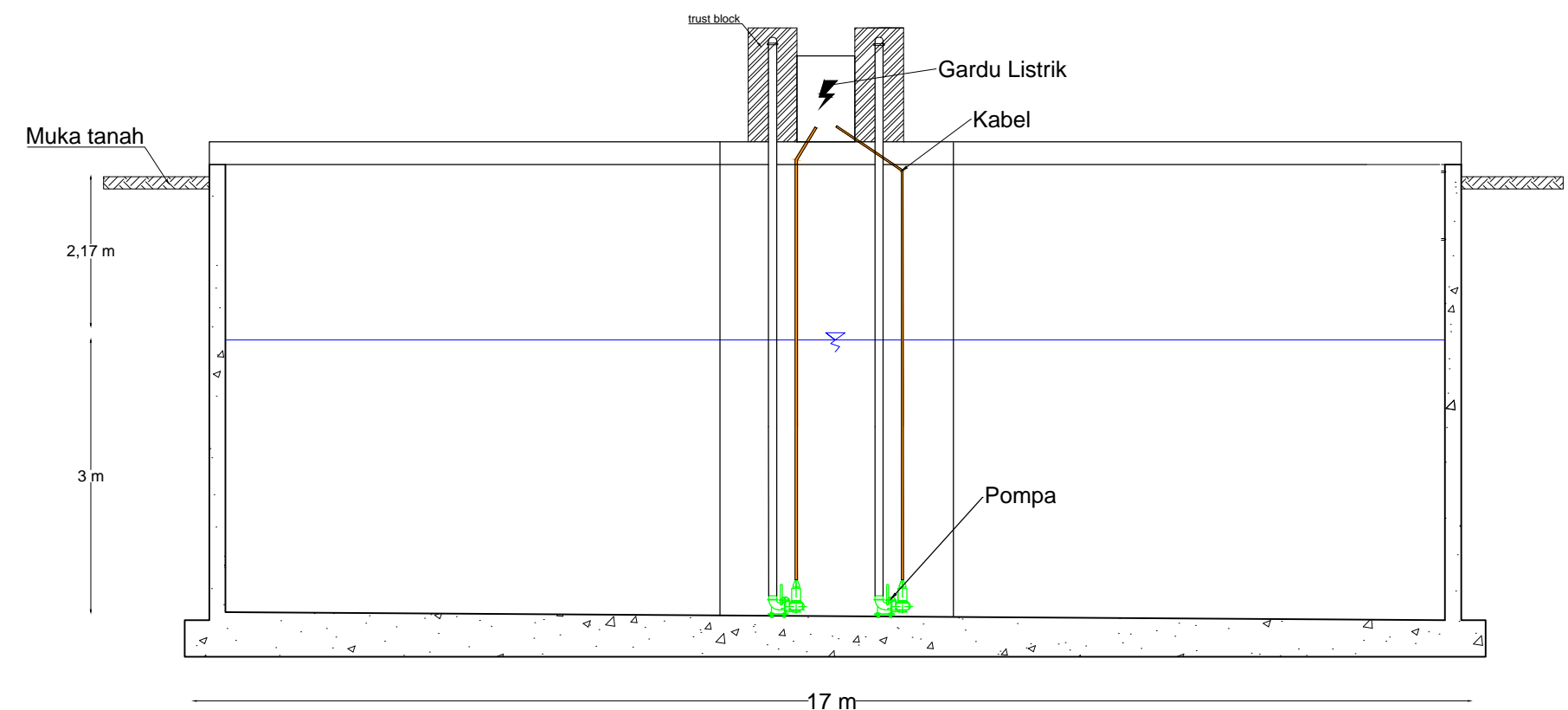
1 : 100

NO.GAMBAR

18



POTONGAN A-A'
SKALA 1:100



POTONGAN B-B'
SKALA 1:100



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Potongan
Bak Ekualisasi




NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

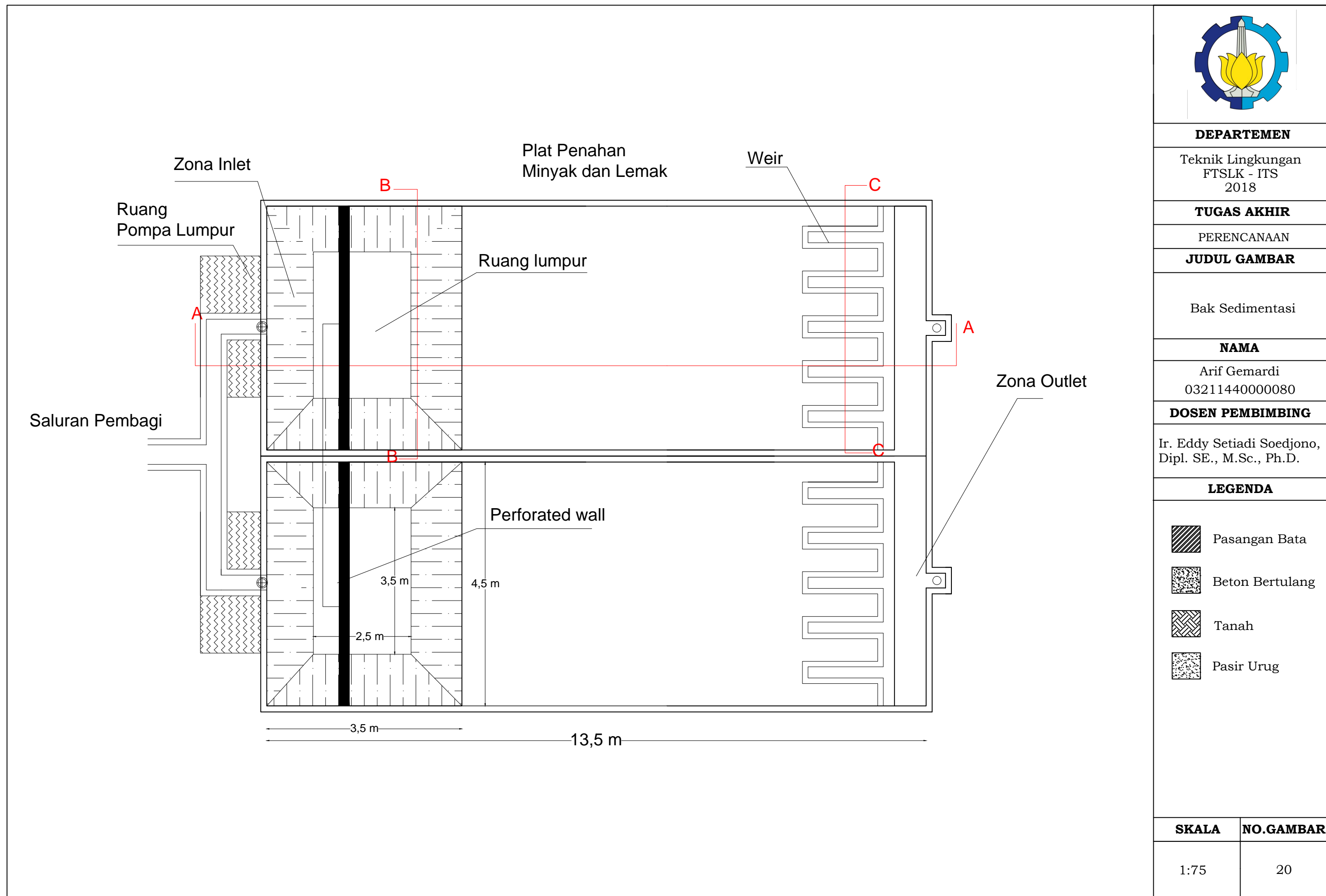
DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA

-  Trust block
-  Beton Bertulang
-  Muka Tanah

SKALA	NO.GAMBAR
1:100	19



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Bak Sedimentasi





NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA

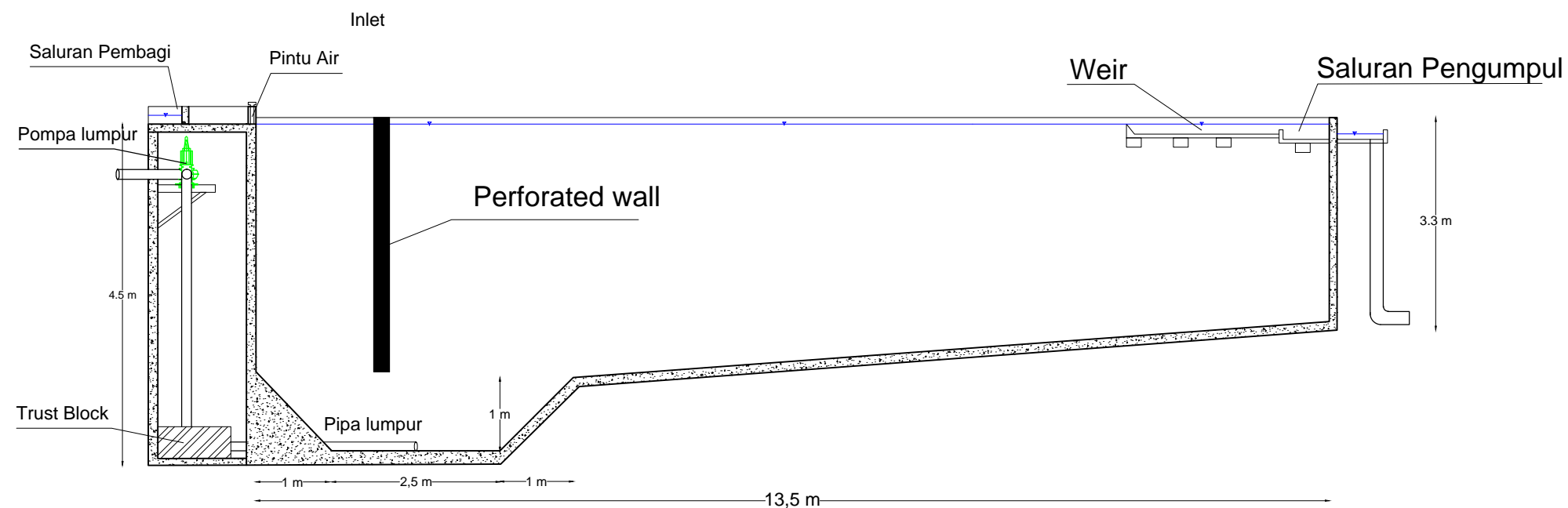
-  Pasangan Bata
-  Beton Bertulang
-  Tanah
-  Pasir Urug

SKALA

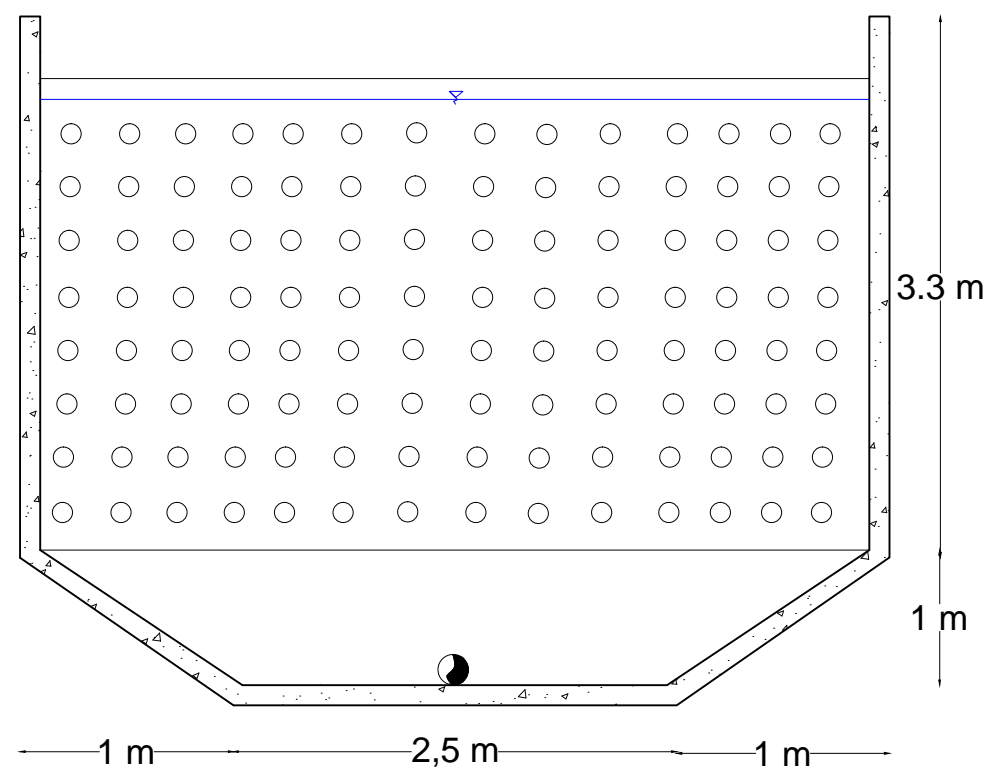
1:75

NO.GAMBAR

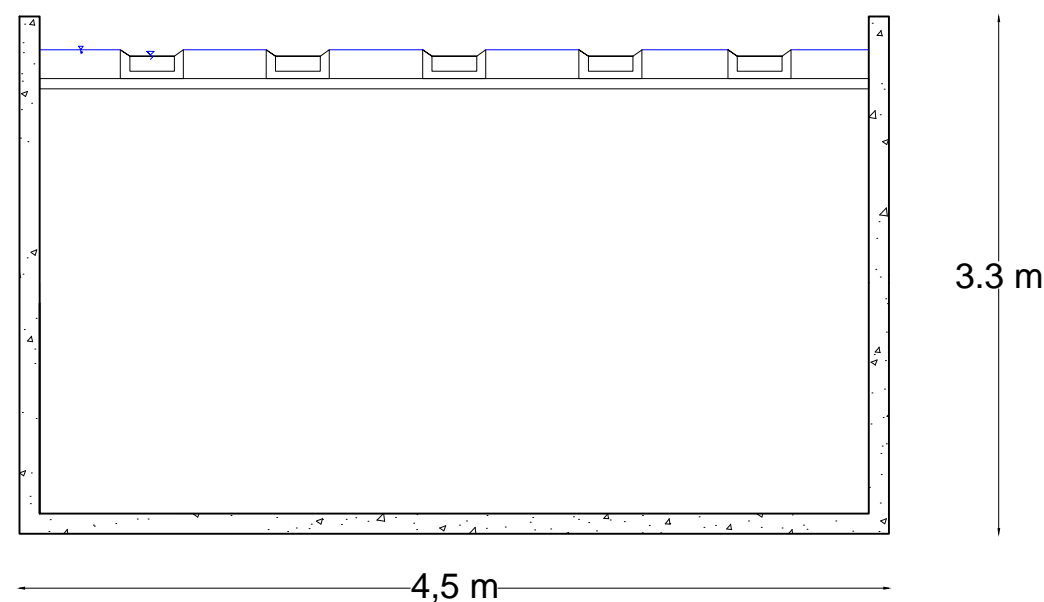
20



Potongan A-A
Skala 1 : 100



Potongan B-B
Skala 1 : 50



Potongan C-C
Skala 1 : 50



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Potongan
Bak Sedimentasi





NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

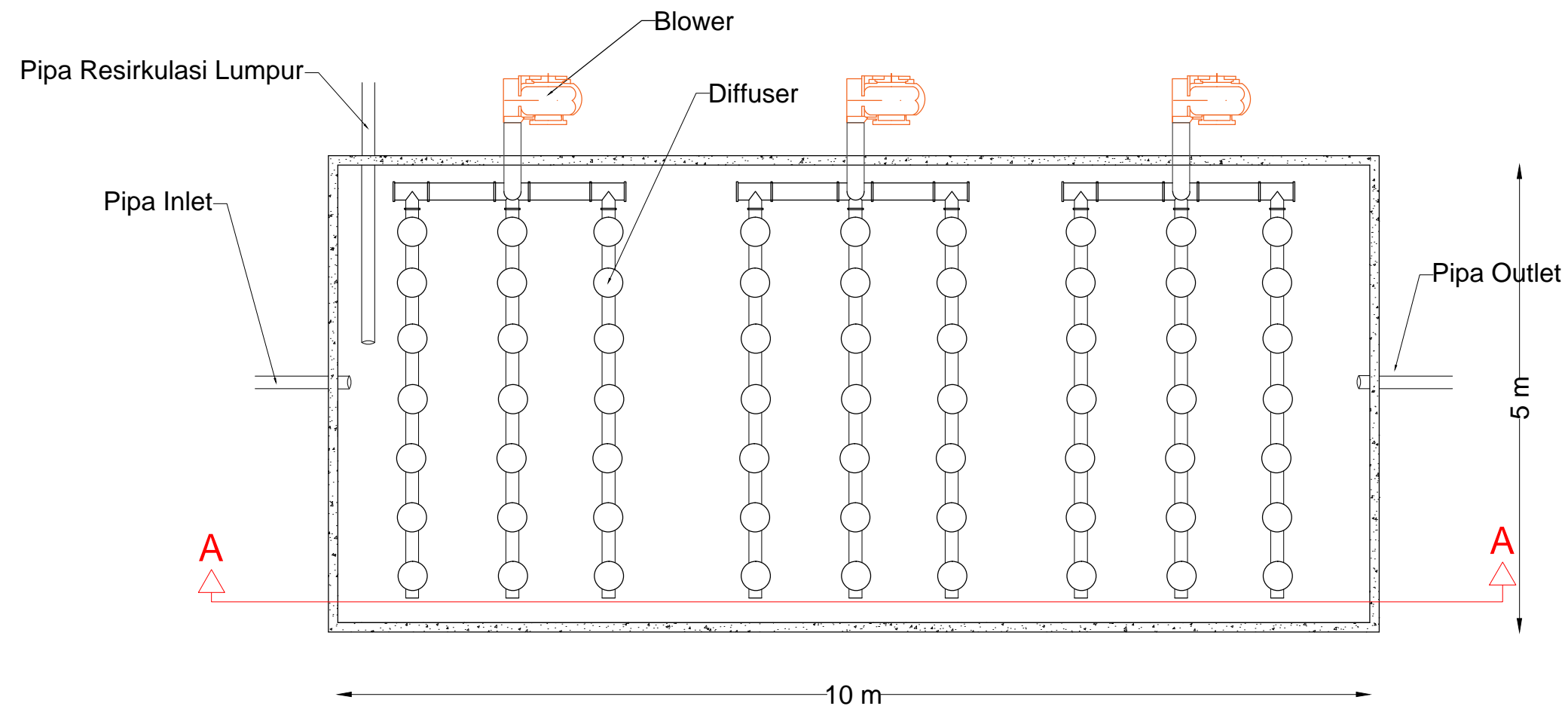
LEGENDA

-  Trust Block
-  Beton Bertulang
-  Tanah
-  Pasir Urug

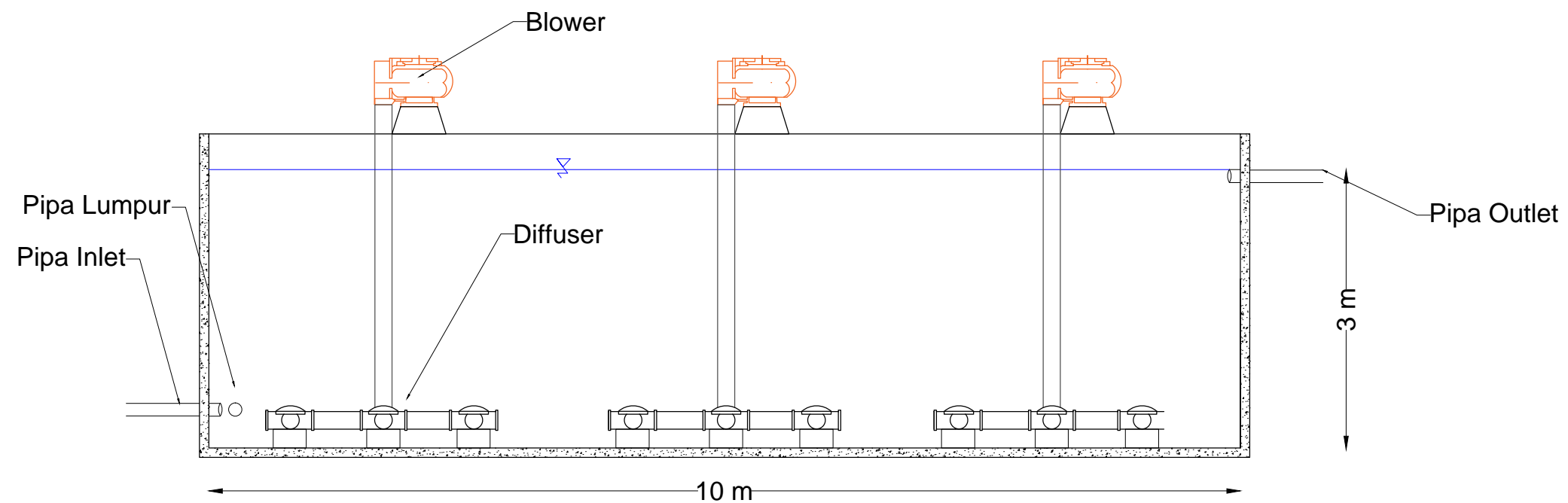
SKALA

NO.GAMBAR

21



DENAH TANGKI AERASI



POTONGAN TANGKI AERASI



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Tangki Aerasi

NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA



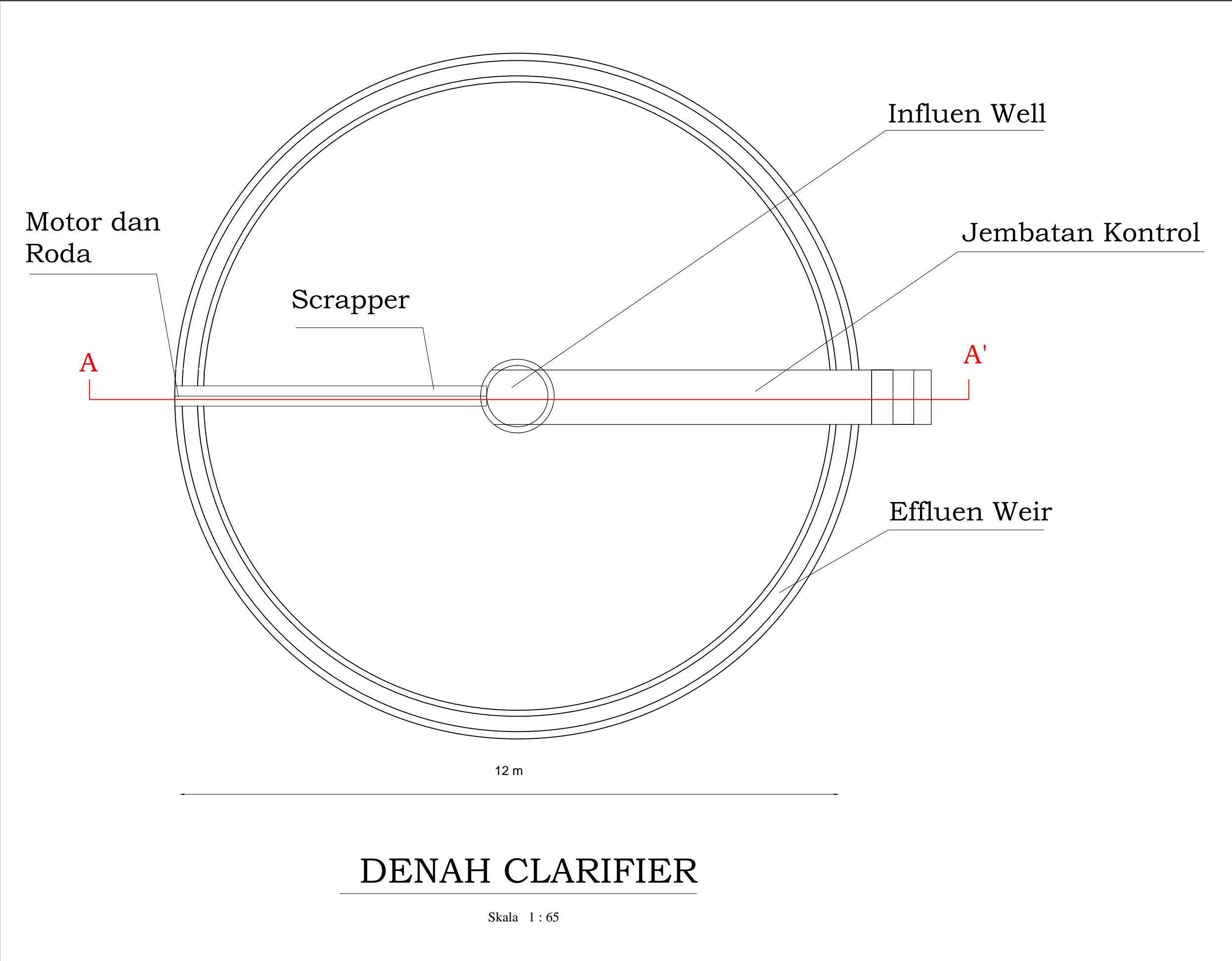
Beton Bertulang

SKALA

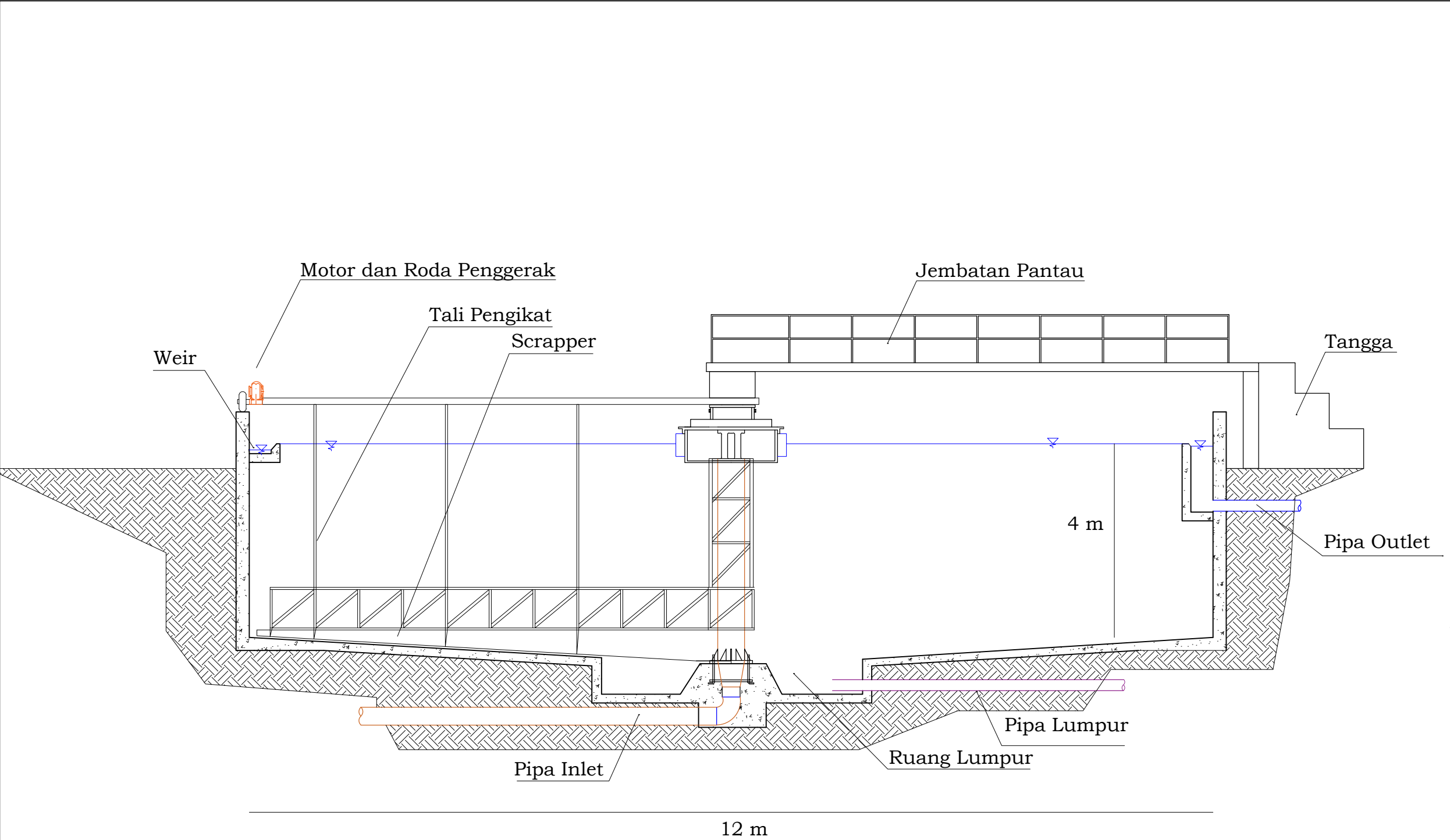
1:100

NO.GAMBAR

22





DEPARTEMEN	
Teknik Lingkungan FTSLK - ITS 2018	
TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN	
JUDUL GAMBAR	
Denah Clarifier	
NAMA	
Arif Gemardi 03211440000080	
DOSEN PEMBIMBING	
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.	
LEGENDA	
SKALA	NO.GAMBAR
	23



POTONGAN A-A' CLARIFIER

Skala 1 : 75



DEPARTEMEN	
Teknik Lingkungan FTSLK - ITS 2018	
TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN	
JUDUL GAMBAR	
Potongan Clarifier	
NAMA	
Arif Gemardi 03211440000080	
DOSEN PEMBIMBING	
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.	
LEGENDA	
	Beton Bertulang
	Muka Tanah
SKALA	NO.GAMBAR
	24



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Bak Disinfeksi

NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

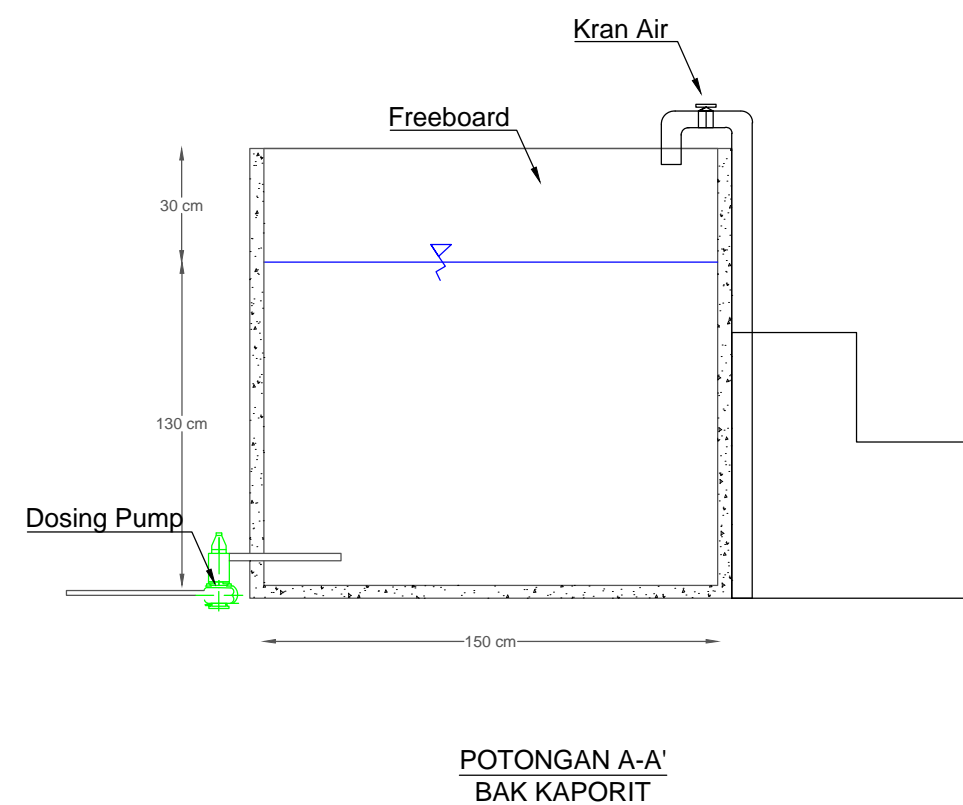
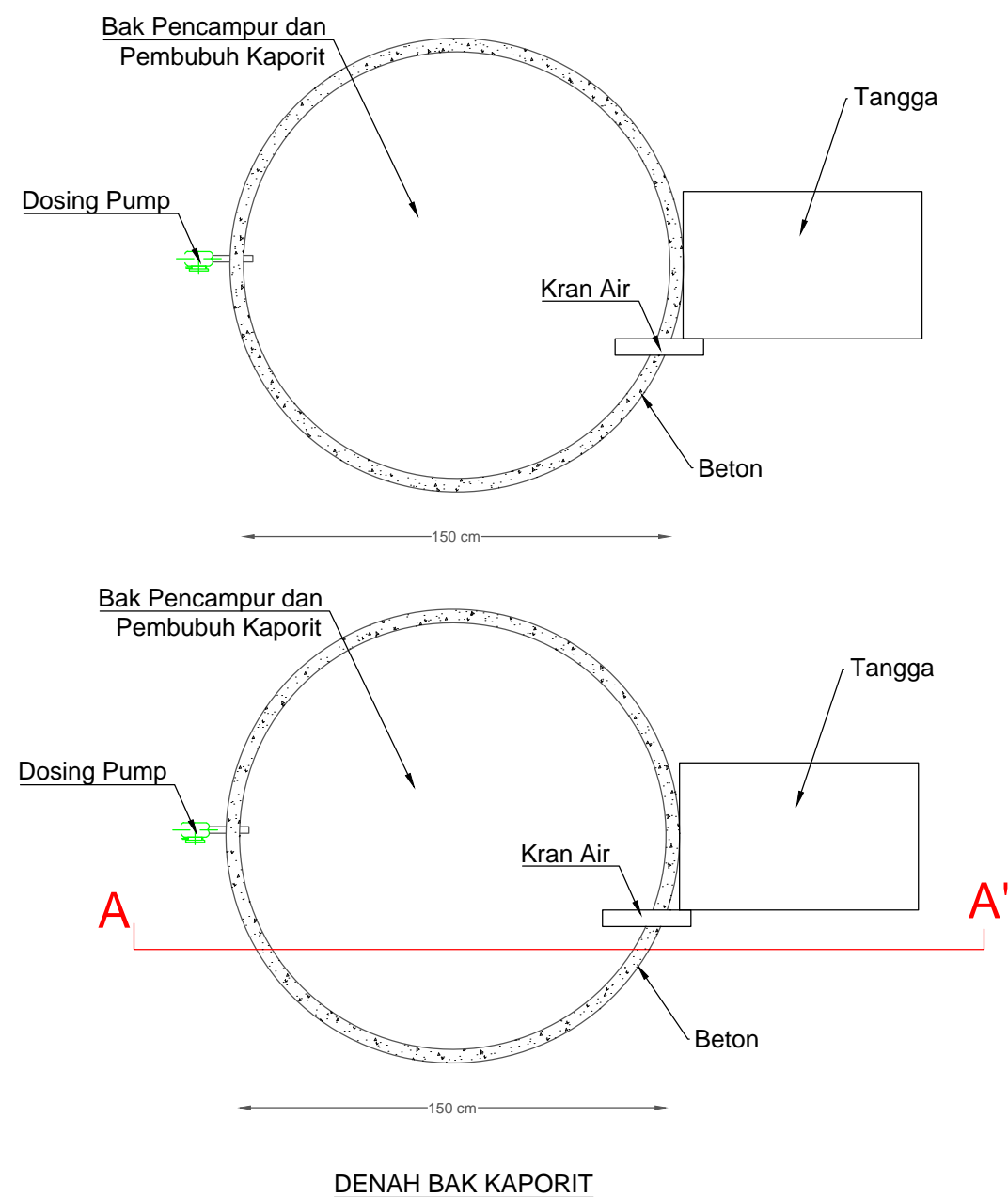
LEGENDA

SKALA

1:25

NO.GAMBAR

25





DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Denah Thickener

NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

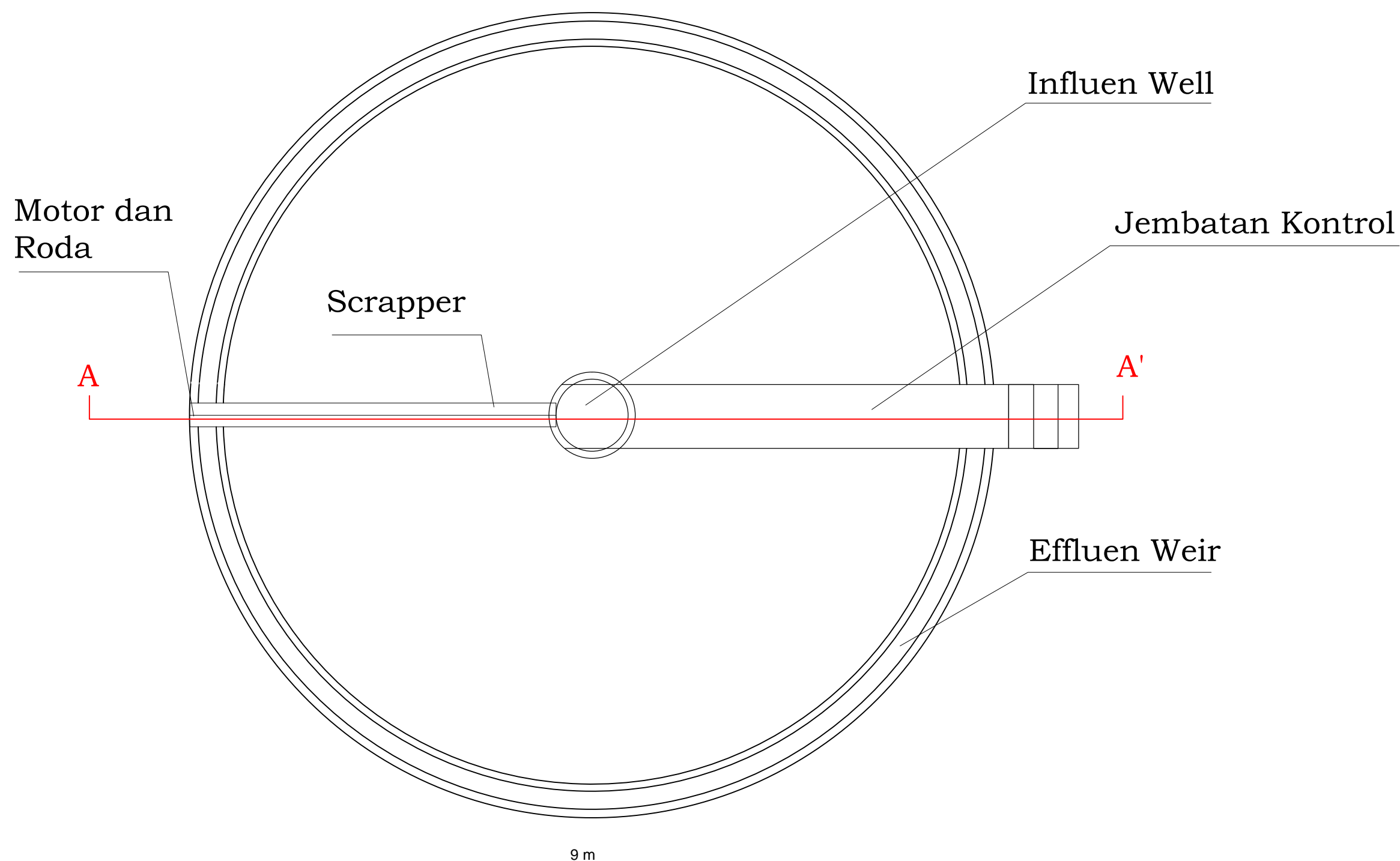
Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA

SKALA

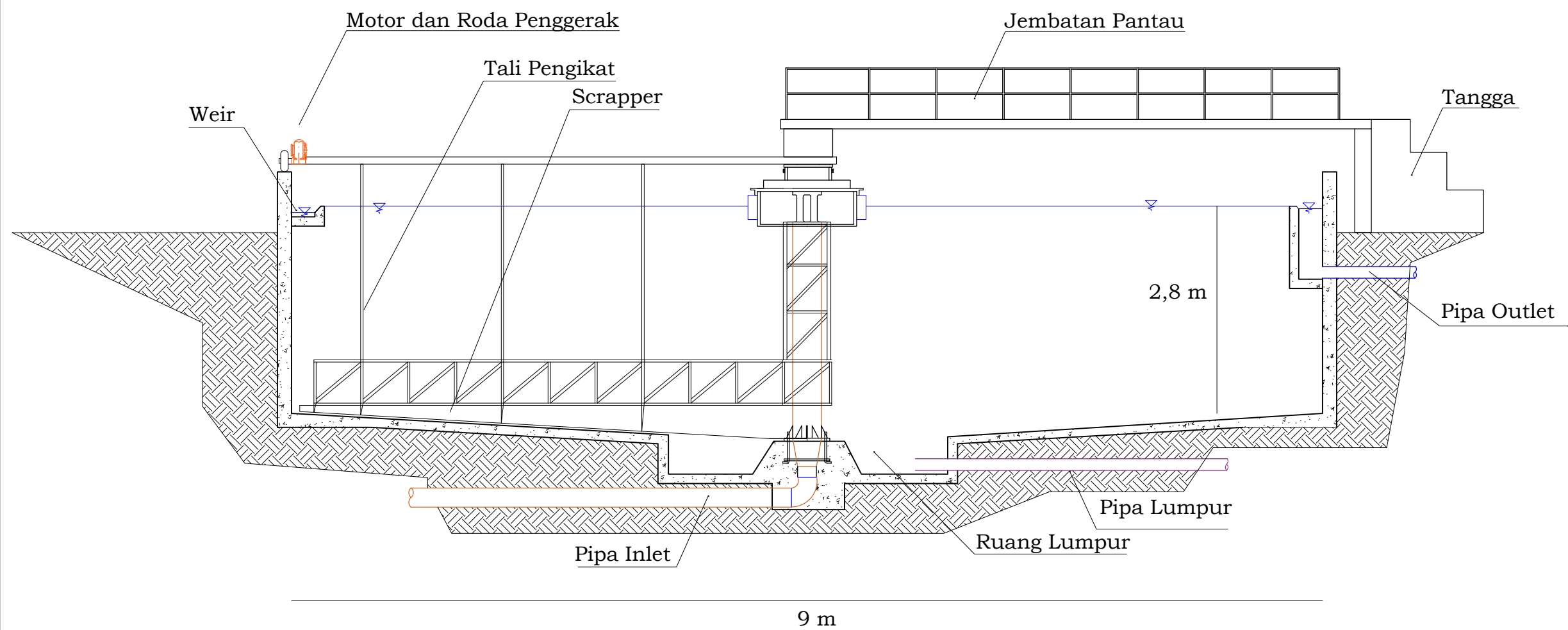
NO.GAMBAR

26



DENAH THICKENER

Skala 1 : 65



POTONGAN A-A' THICKENER

Skala 1 : 75



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Potongan Thickener

NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA



Beton Bertulang

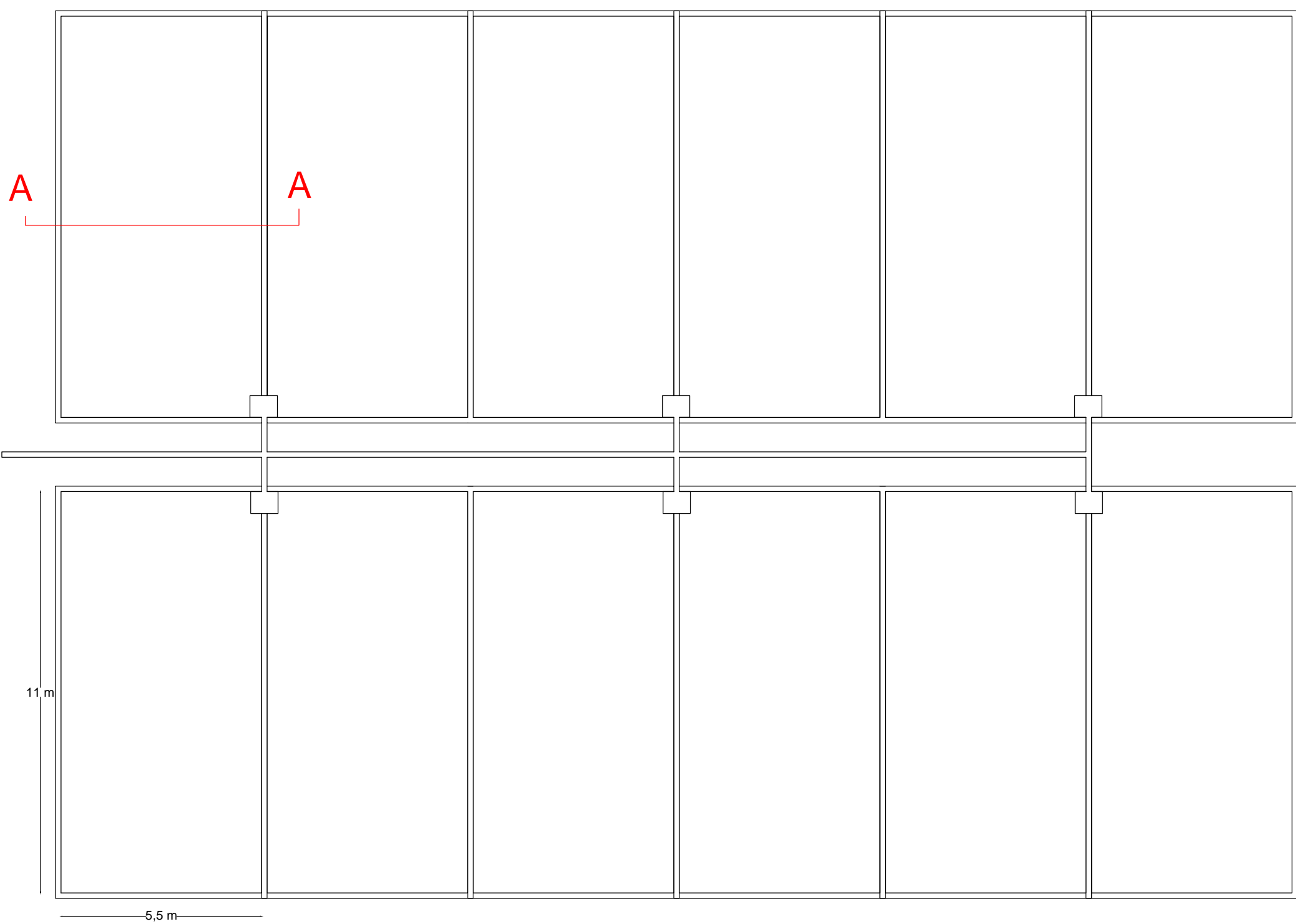


Muka Tanah

SKALA

NO.GAMBAR

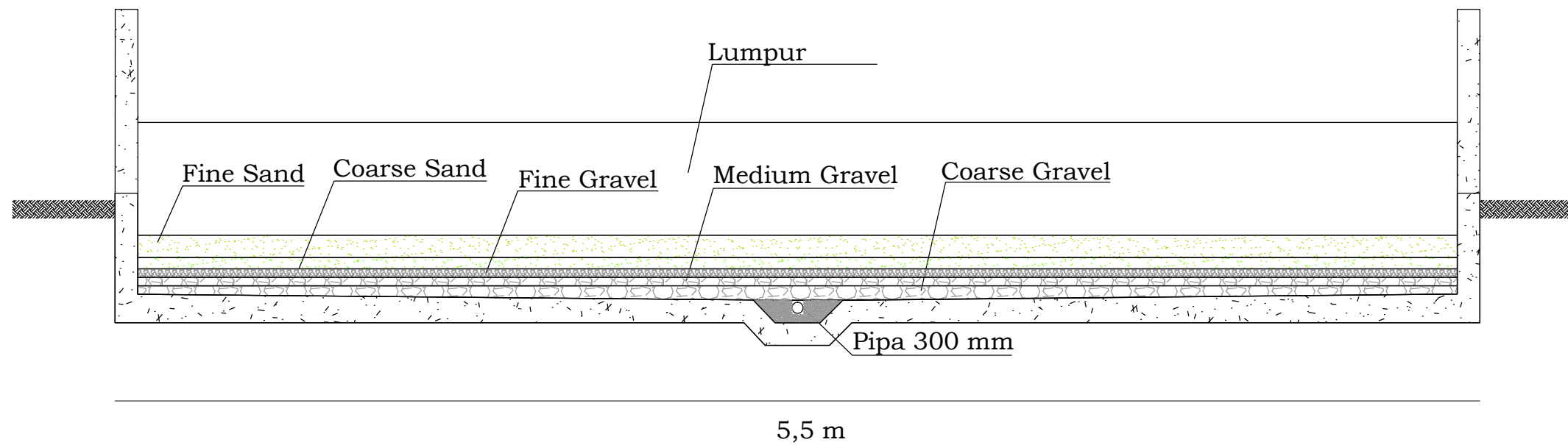
27



DENAH SLUDE DRYING BED



DEPARTEMEN	
Teknik Lingkungan FTSLK - ITS 2018	
TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN	
JUDUL GAMBAR	
Denah SDB	
NAMA	
Arif Gemardi 03211440000080	
DOSEN PEMBIMBING	
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.	
LEGENDA	
SKALA	NO.GAMBAR
1:200	28



POTONGAN A-A SLUDGE DRYING BED



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Potongan SDB

NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

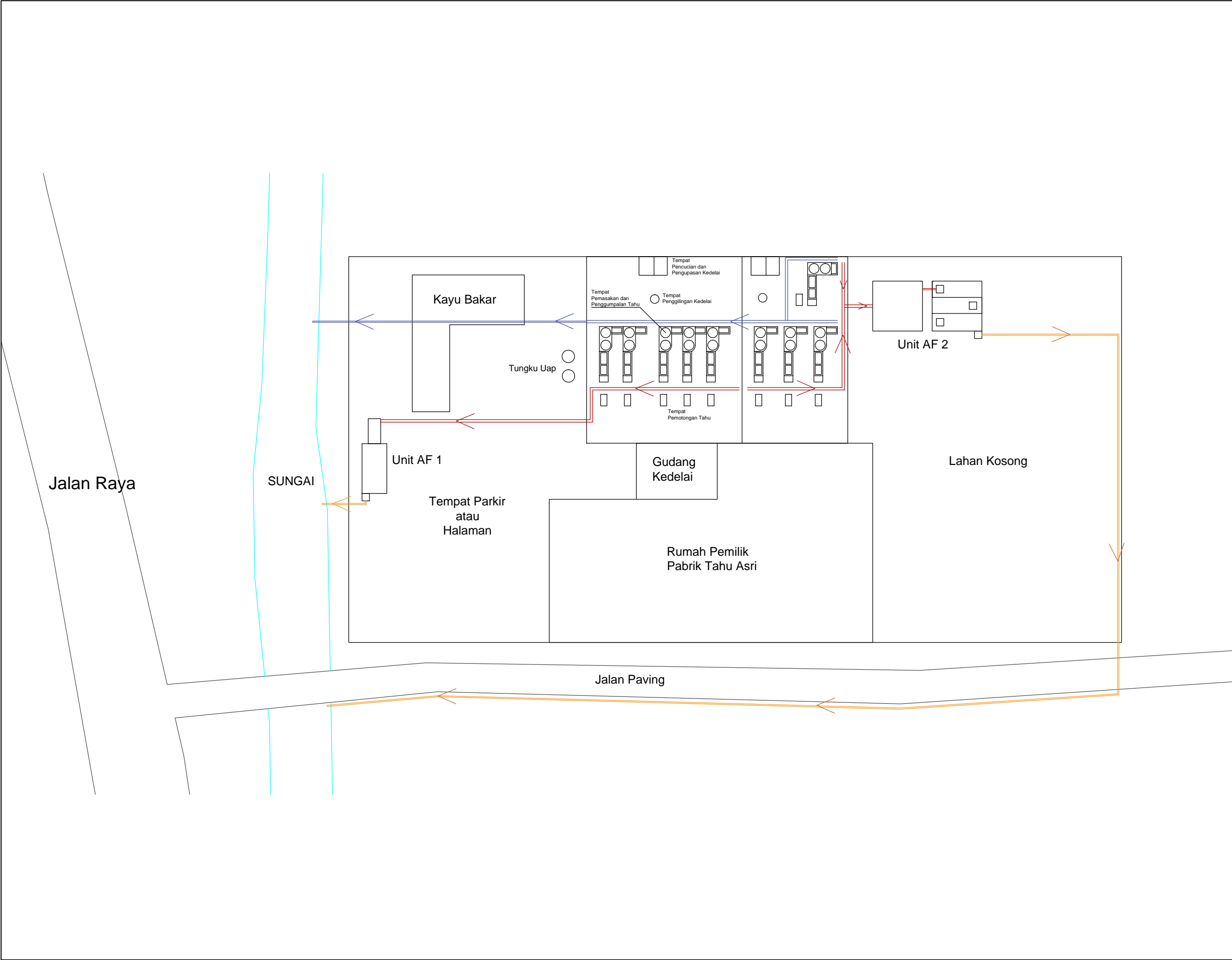
LEGENDA

SKALA

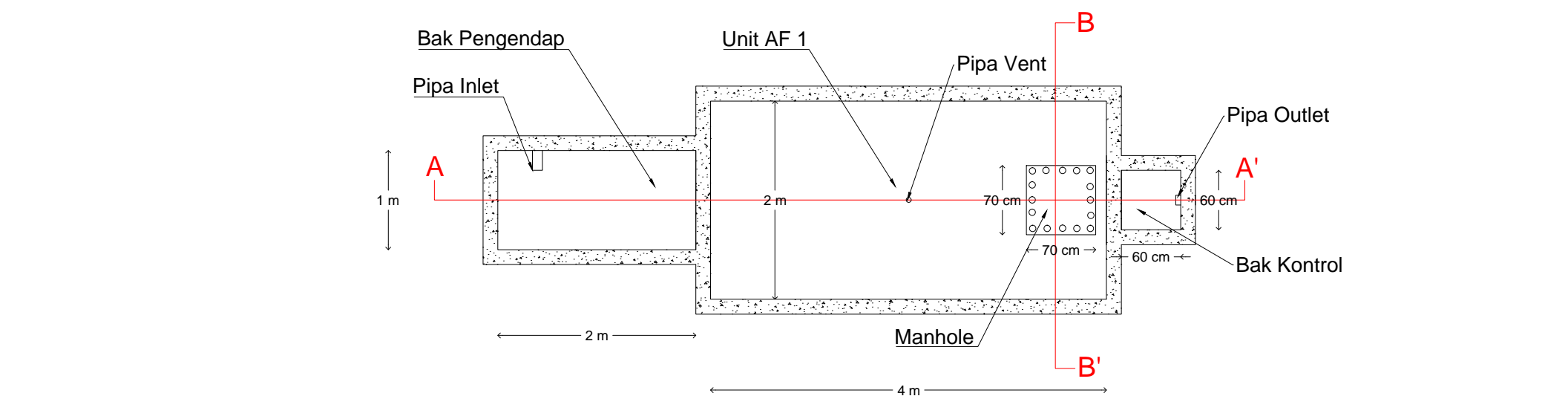
1:100

NO.GAMBAR

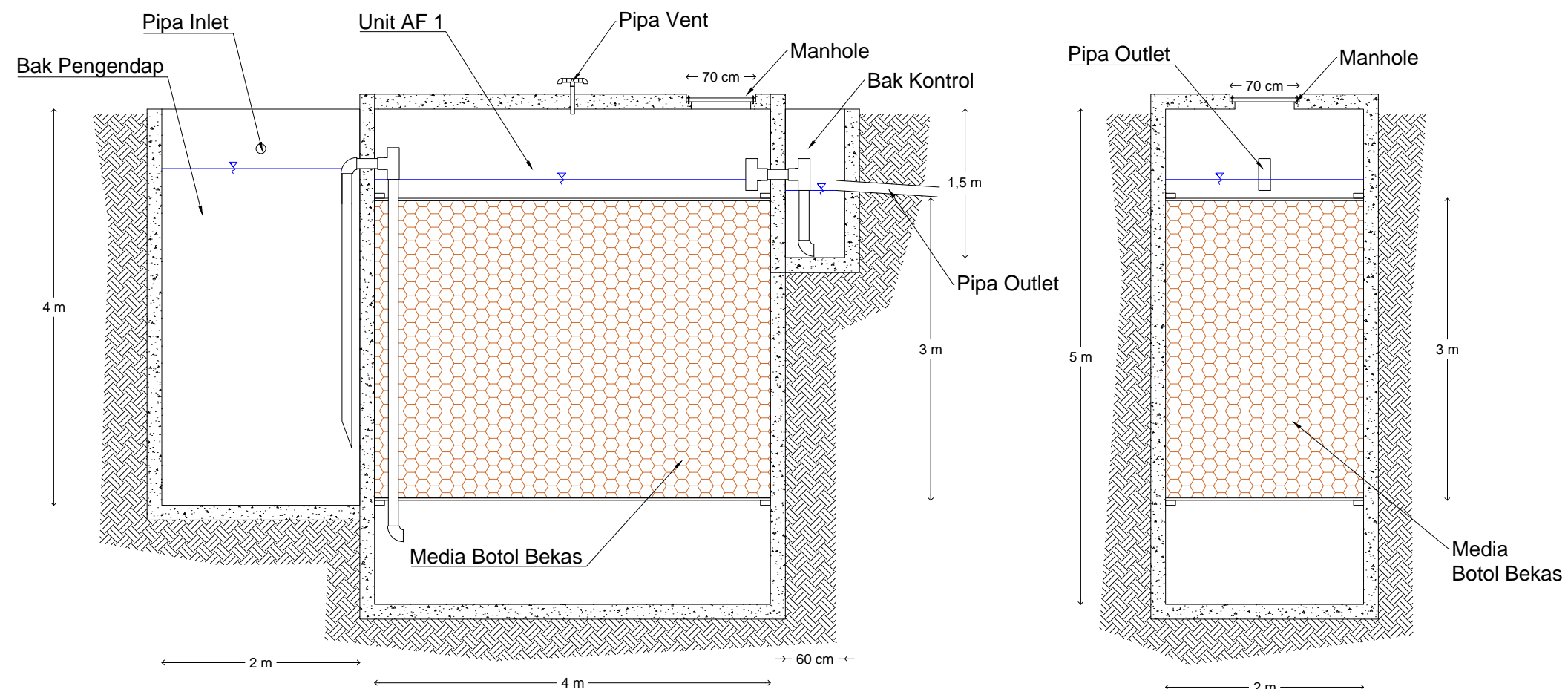
29



DEPARTEMEN	
Teknik Lingkungan FTSLK - ITS 2018	
TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN	
JUDUL GAMBAR	
Layout Eksisting Pabrik Tahu	
NAMA	
Arif Gemardi 03211440000080	
DOSEN PEMBIMBING	
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.	
LEGENDA	
<div><div>Saluran Air Limbah</div><div>Saluran Air Pencucian</div><div>Saluran Outlet IPAL</div><div>Jalan</div><div>Sungai</div></div>	
SKALA	NO.GAMBAR
1:300	30

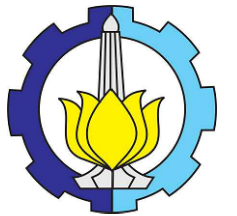


DENAH UNIT ANAEROBIK FILTER 1



POTONGAN A-A'

POTONGAN B-B'



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

IPAL Eksisting
Anaerobik Filter 1
dan Potongan

NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA



Beton Bertulang



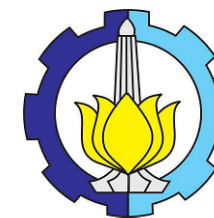
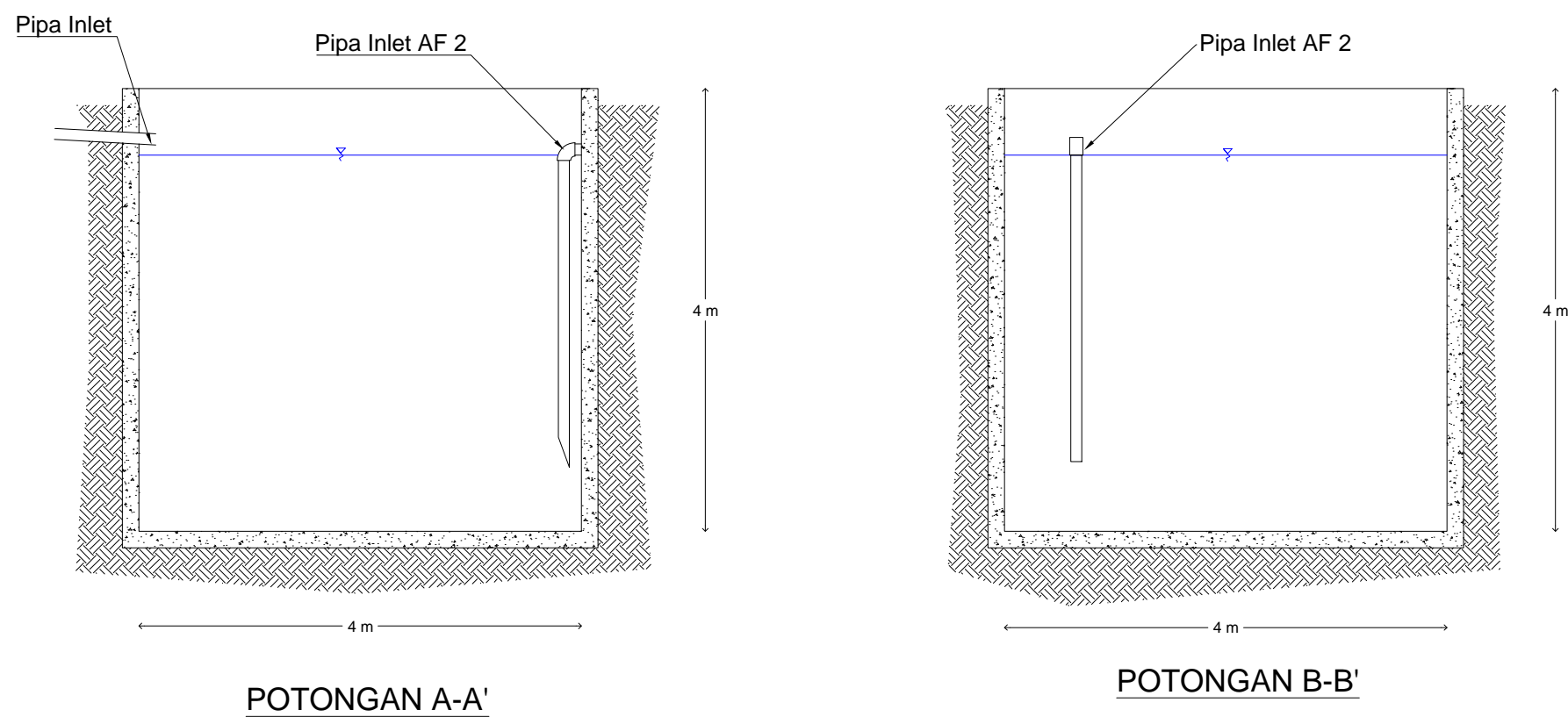
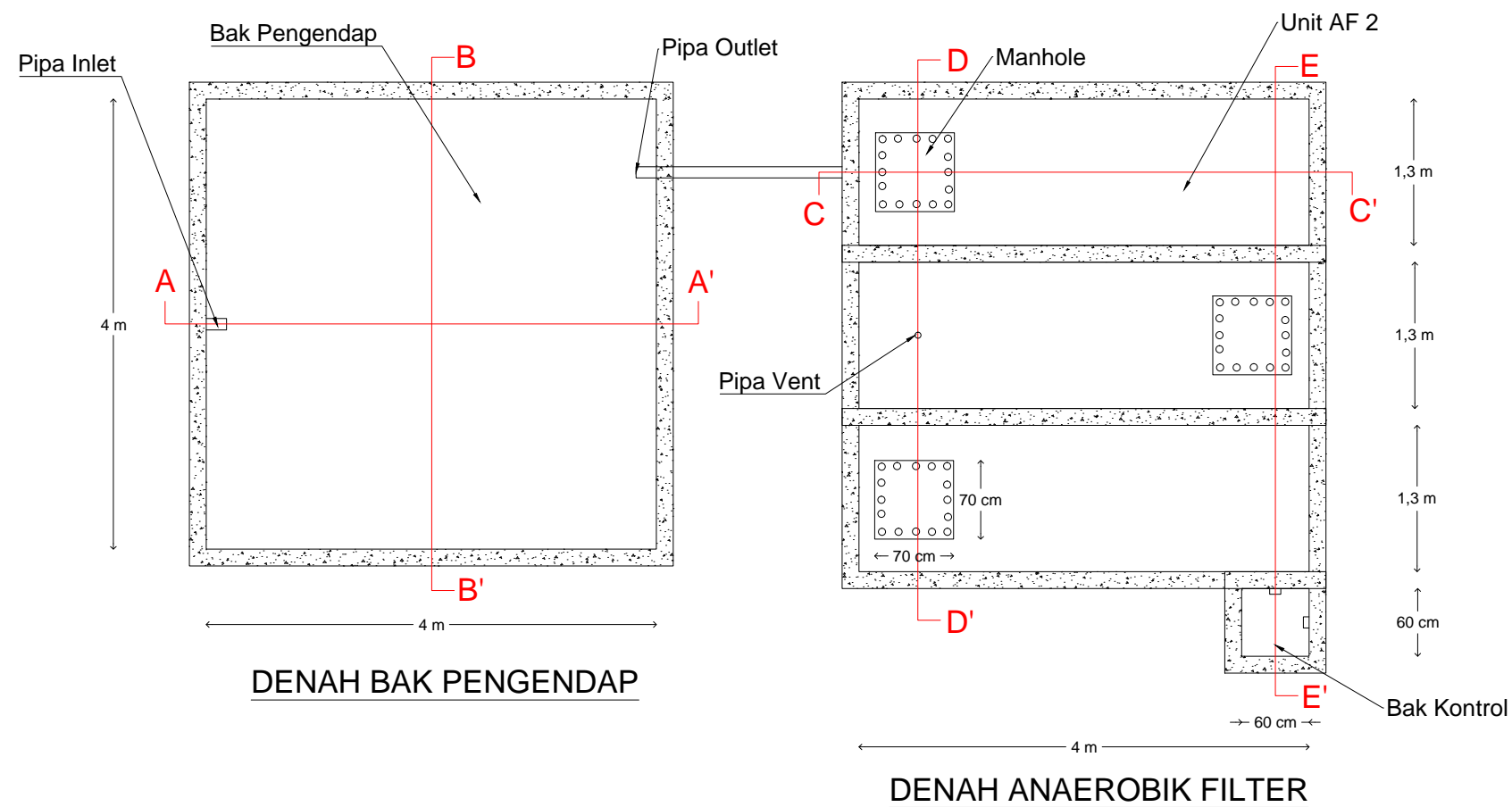
Tanah

SKALA

1 : 50

NO.GAMBAR

31



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

IPAL Eksisting
Bak Pengendap dan Unit
Anaerobik Filter 2



NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA

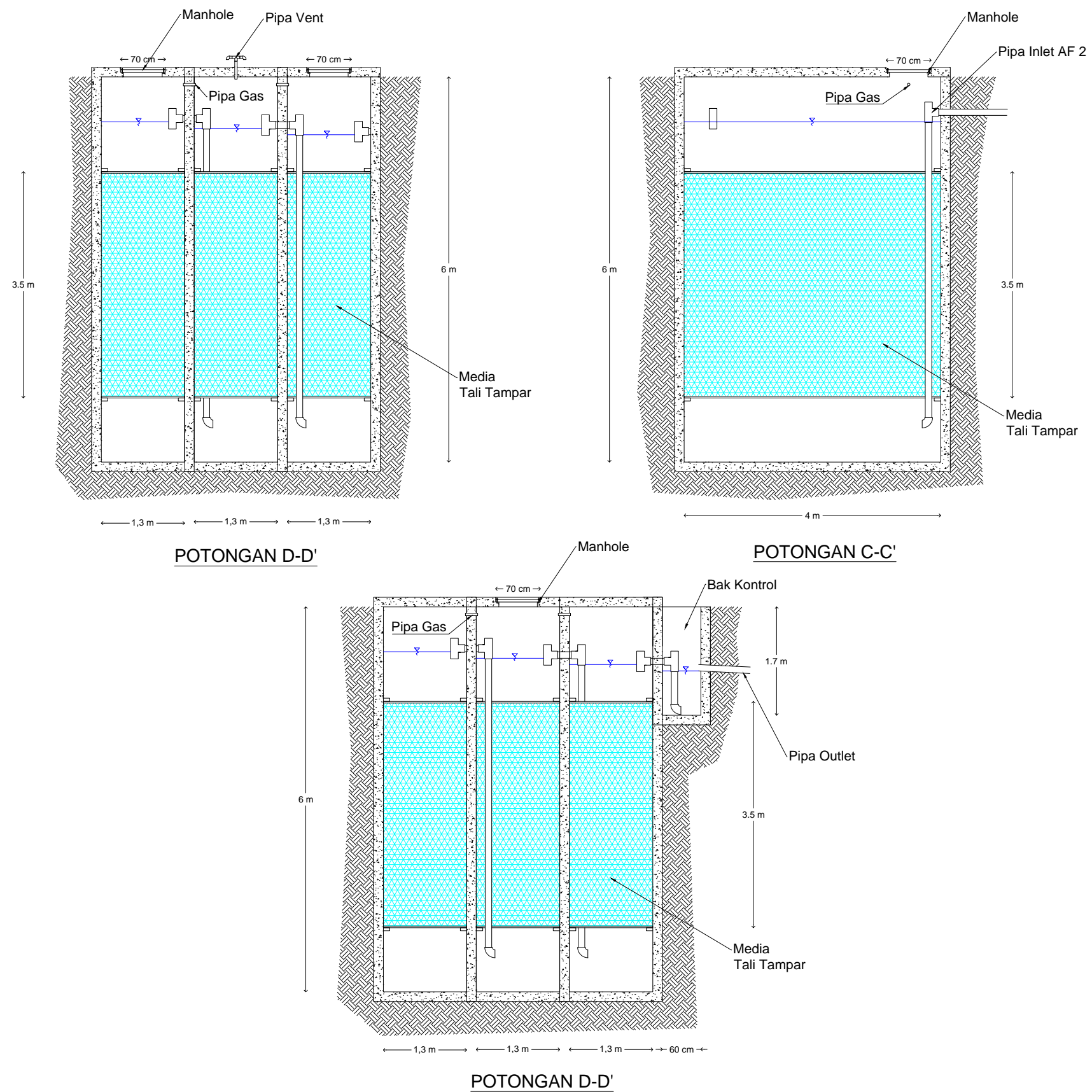
-  Beton Bertulang
-  Tanah

SKALA

1:60

NO. GAMBAR

32



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

IPAL Eksisting
Potongan AF 2



NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

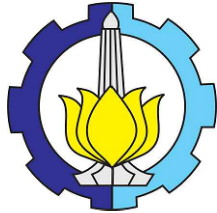
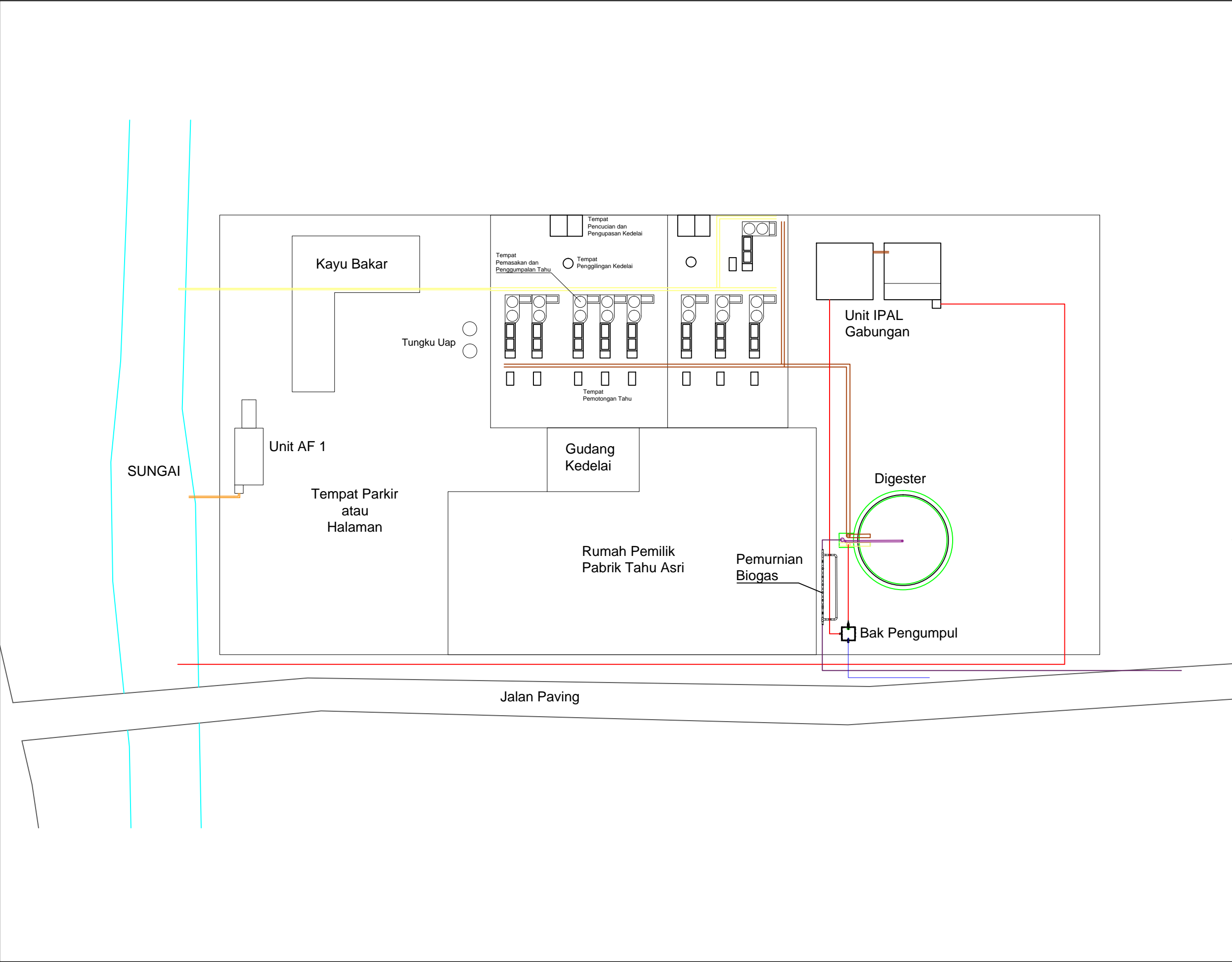
Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA

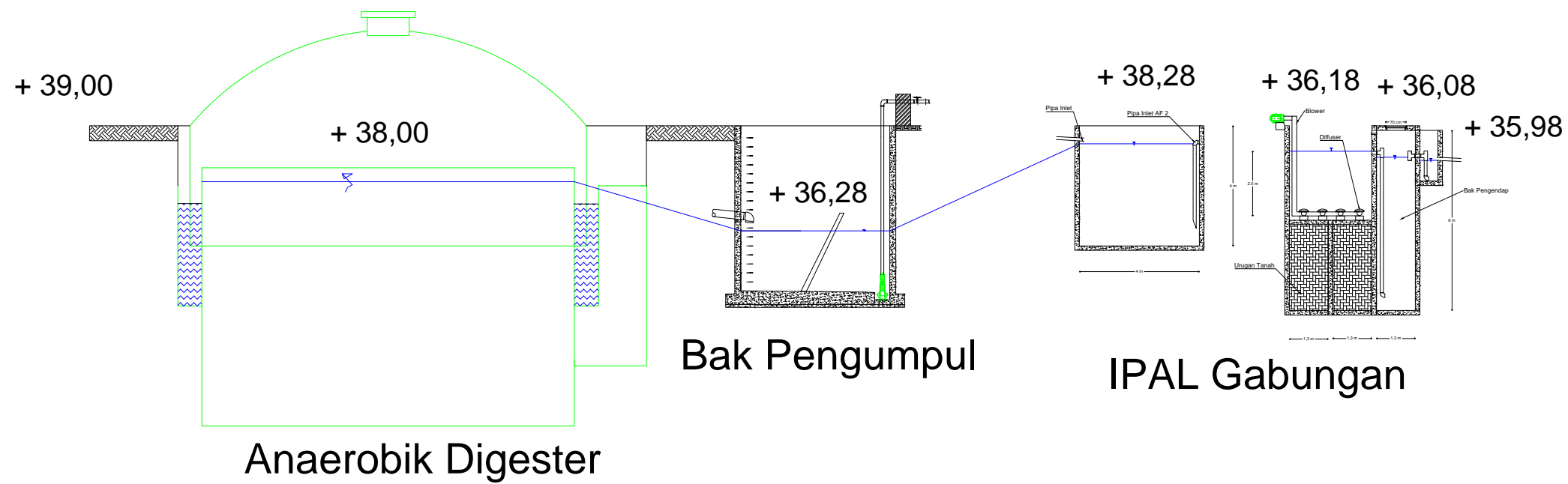
-  Beton Bertulang
-  Tanah

SKALA NO.GAMBAR

1:75 33



DEPARTEMEN	
Teknik Lingkungan FTSLK - ITS 2018	
TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN	
JUDUL GAMBAR	
Layout Pabrik Tahu Baru	
NAMA	
Arif Gemardi 03211440000080	
DOSEN PEMBIMBING	
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.	
LEGENDA	
<div>Saluran Air Limbah</div> <div>Saluran Air Pencucian</div> <div>Saluran Outlet IPAL</div> <div>Pipa Biogas</div> <div>Jalan</div> <div>Sungai</div>	
SKALA	NO.GAMBAR
1:300	34



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Profil Hidrolis
IPALDS

NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA

SKALA NO.GAMBAR

1:300

35



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Unit Pemurnian Biogas

NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

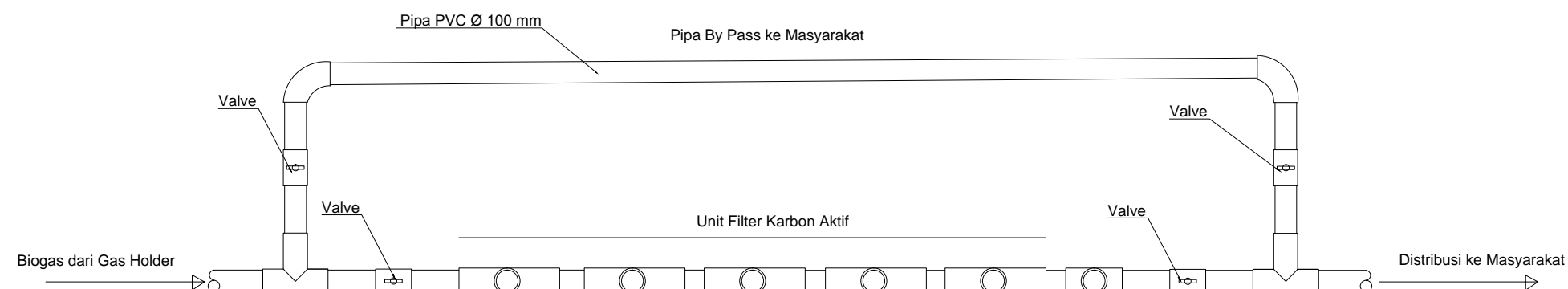
LEGENDA

SKALA

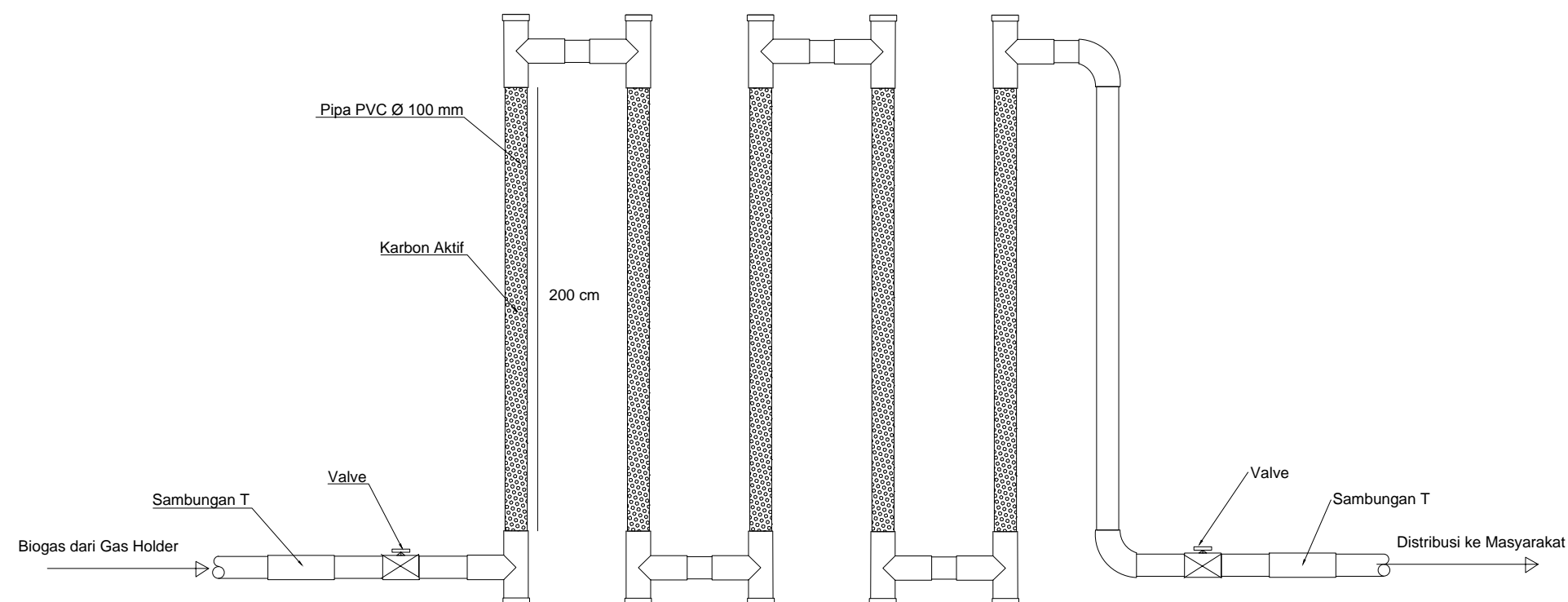
1:25

NO.GAMBAR

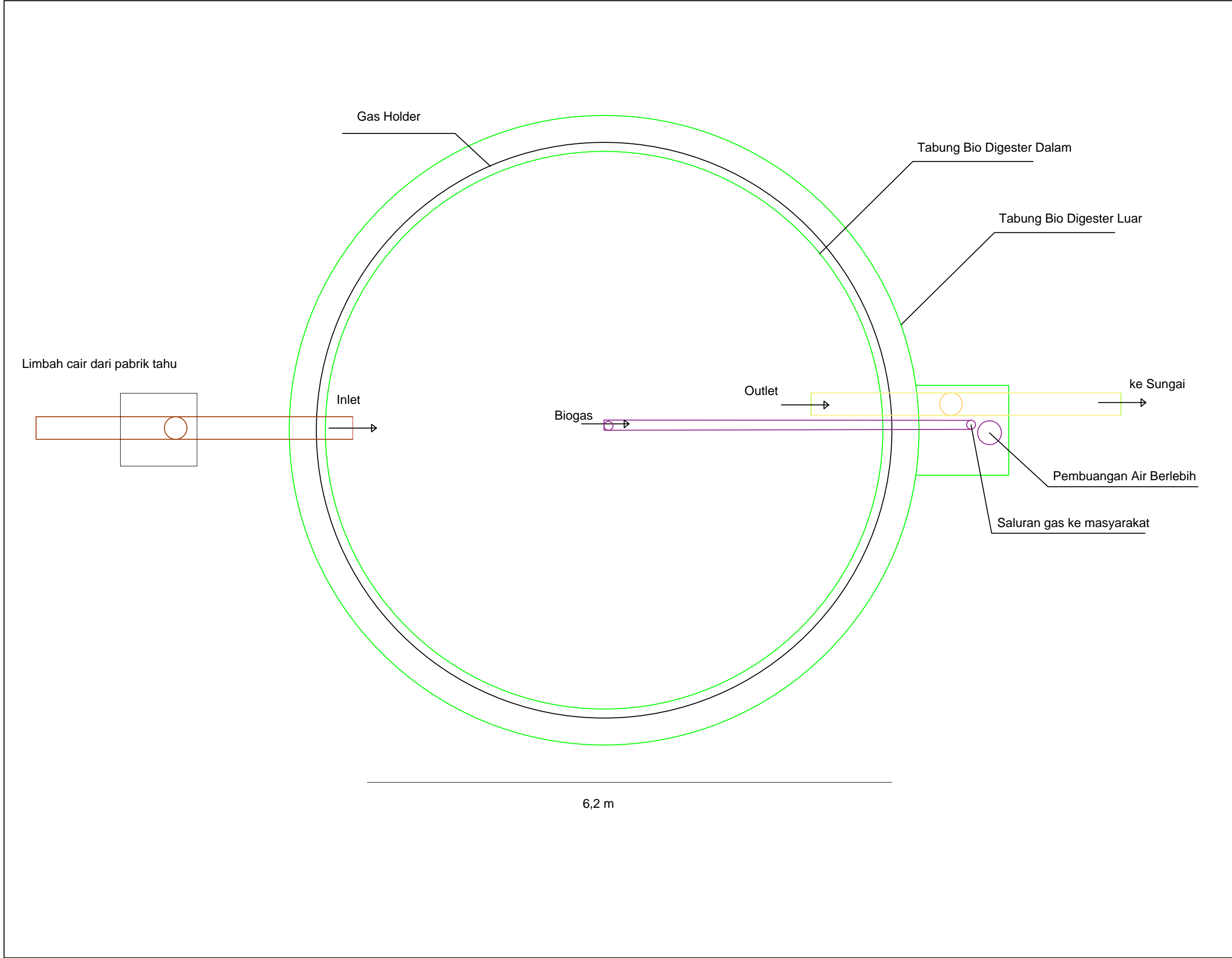
36



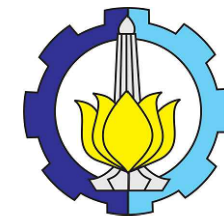
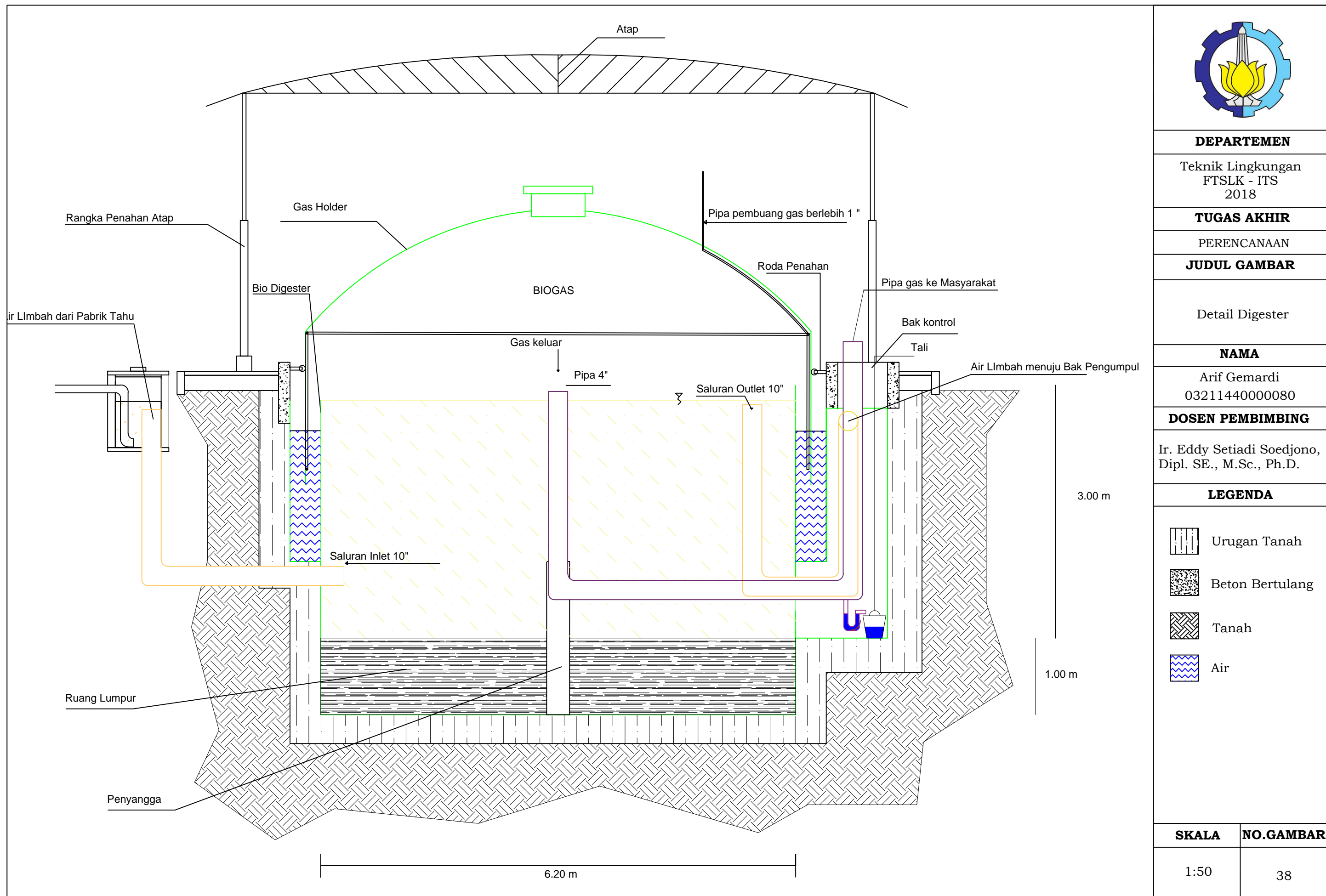
Tampak Atas Unit Filter Pemurnian Biogas



Tampak Depan Unit Filter Pemurnian Biogas



DEPARTEMEN	
Teknik Lingkungan FTSLK - ITS 2018	
TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN	
JUDUL GAMBAR	
Layout Digester	
NAMA	
Arif Gemardi 03211440000080	
DOSEN PEMBIMBING	
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.	
LEGENDA	
SKALA	NO.GAMBAR
1:50	37



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Detail Digester

NAMA

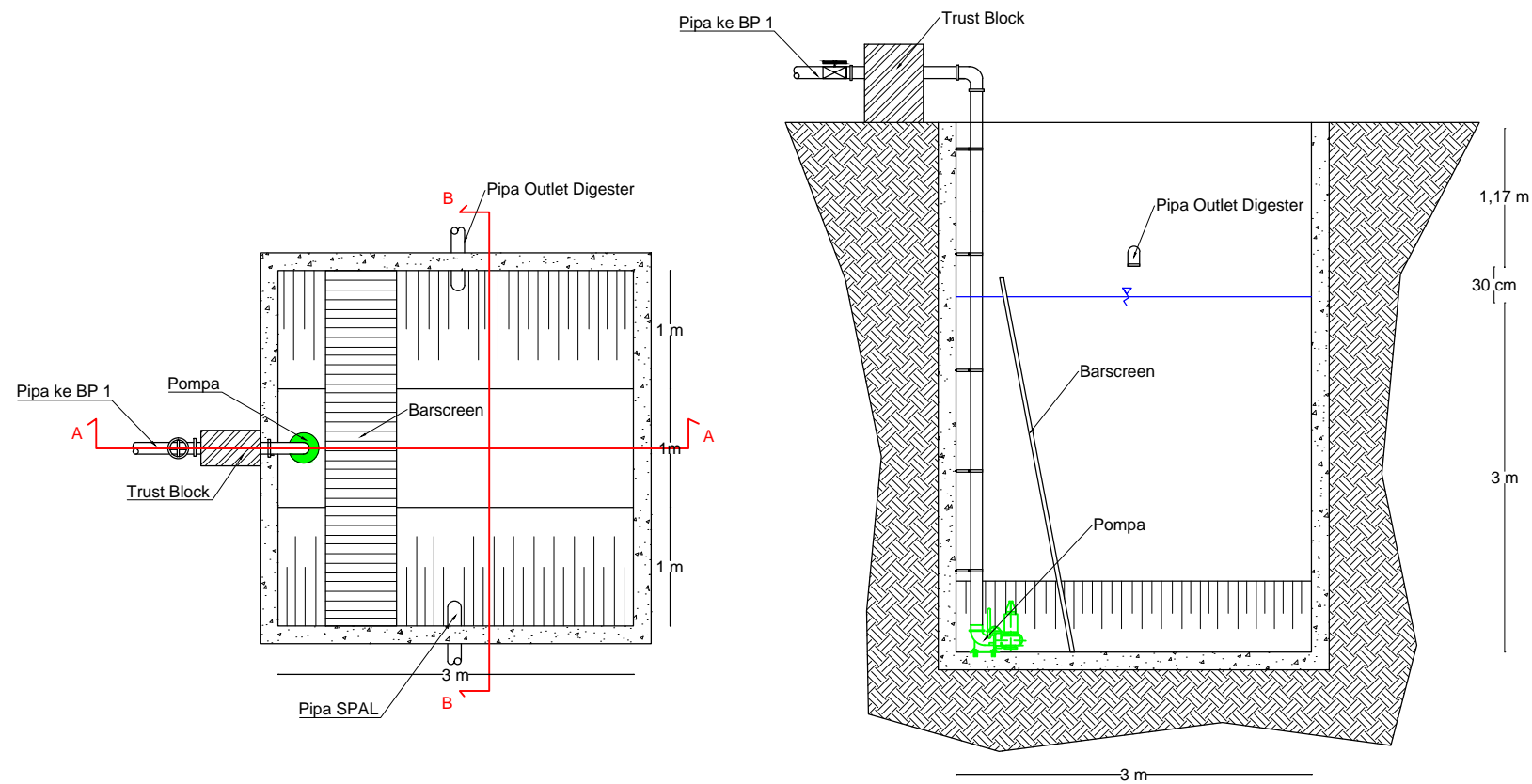
Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

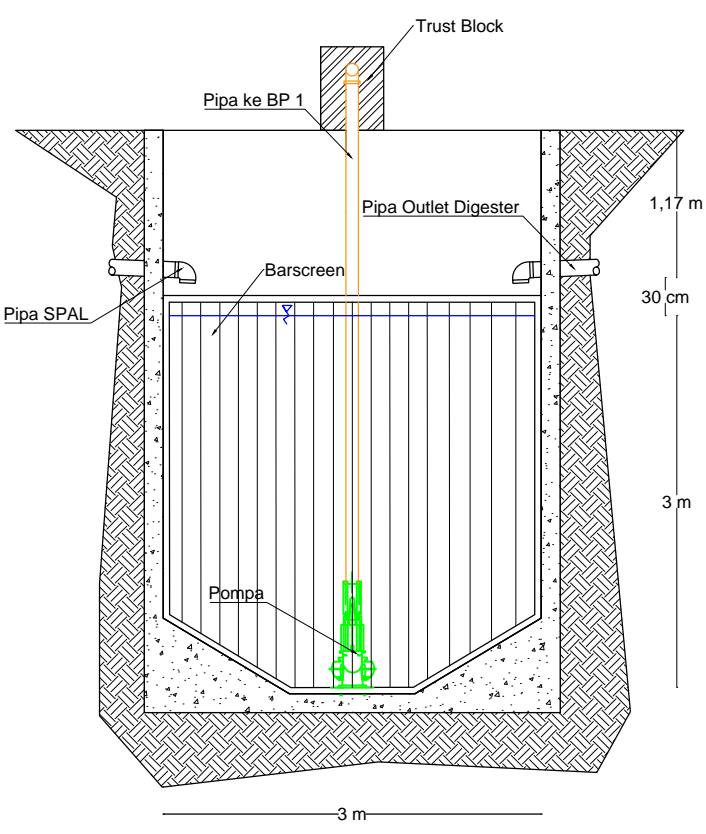
Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA

- Urugan Tanah
- Beton Bertulang
- Tanah
- Air

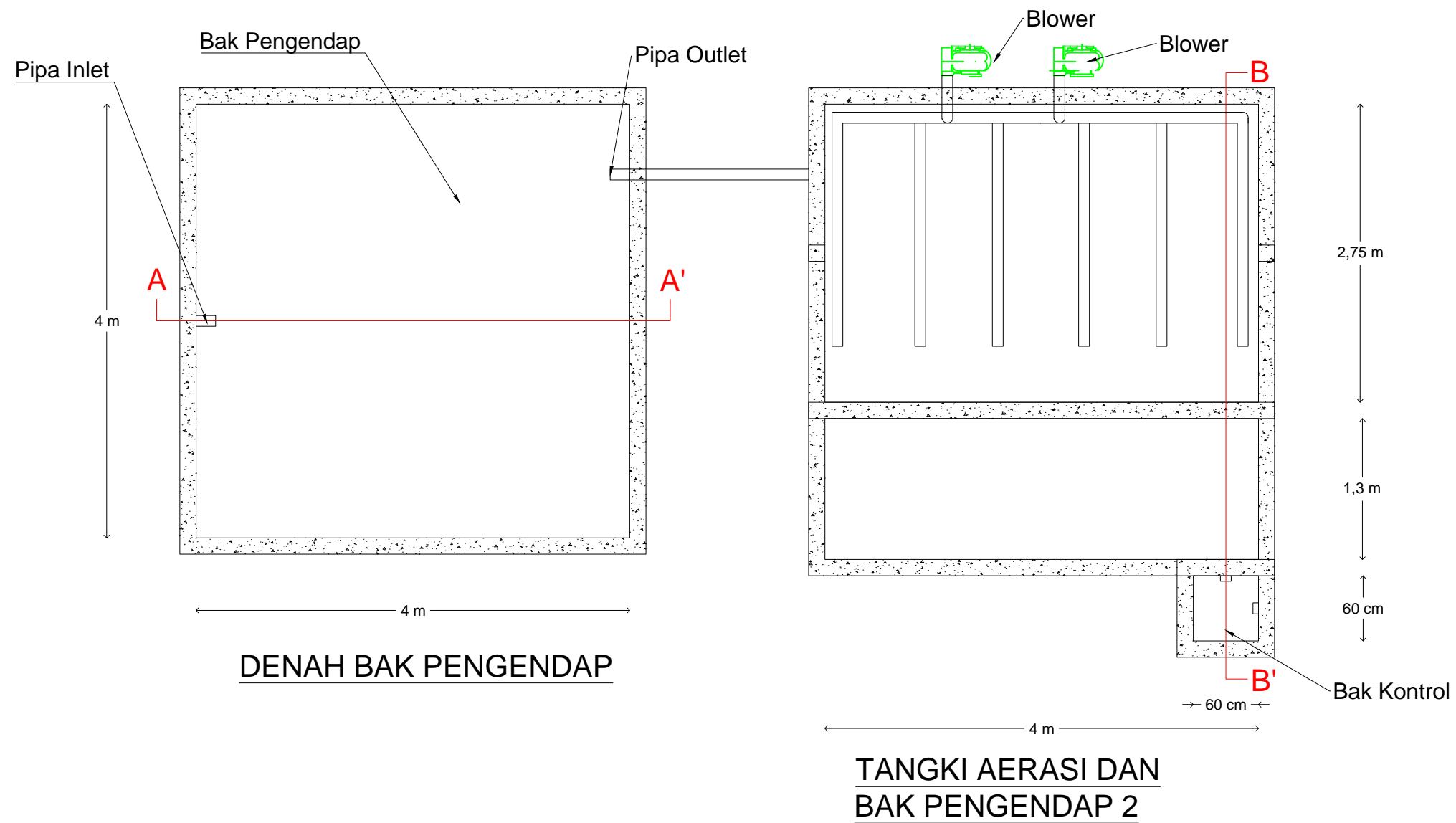


DENAH BAK PENGUMPUL



POTONGAN B-B'

<div></div>	
DEPARTEMEN	
Teknik Lingkungan FTSLK - ITS 2018	
TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN	
JUDUL GAMBAR	
Bak Pengumpul dan Potongan	
NAMA	
Arif Gemardi 03211440000080	
DOSEN PEMBIMBING	
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.	
LEGENDA	
<div></div> Trust Block	
<div></div> Beton Bertulang	
<div></div> Tanah	
SKALA	NO.GAMBAR
1:25	40



DEPARTEMEN

Teknik Lingkungan
FTSLK - ITS
2018

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN

JUDUL GAMBAR

Denah Bak Pengendap 1,
Tangki Aerasi dan Bak
Pengendap 2

NAMA

Arif Gemardi
03211440000080

DOSEN PEMBIMBING

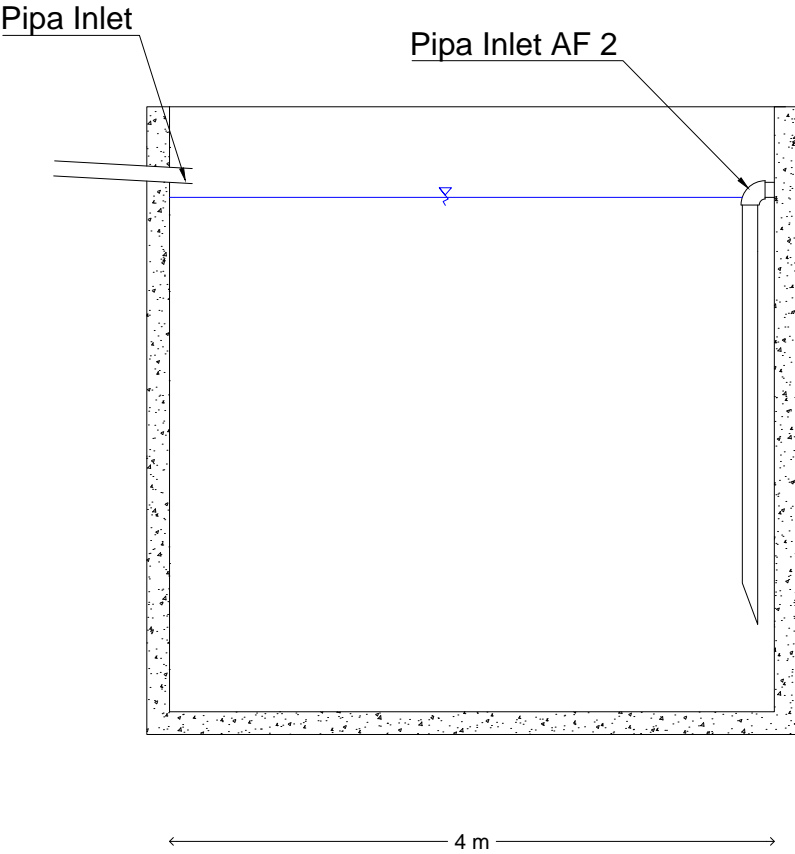
Ir. Eddy Setiadi Soedjono,
Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA

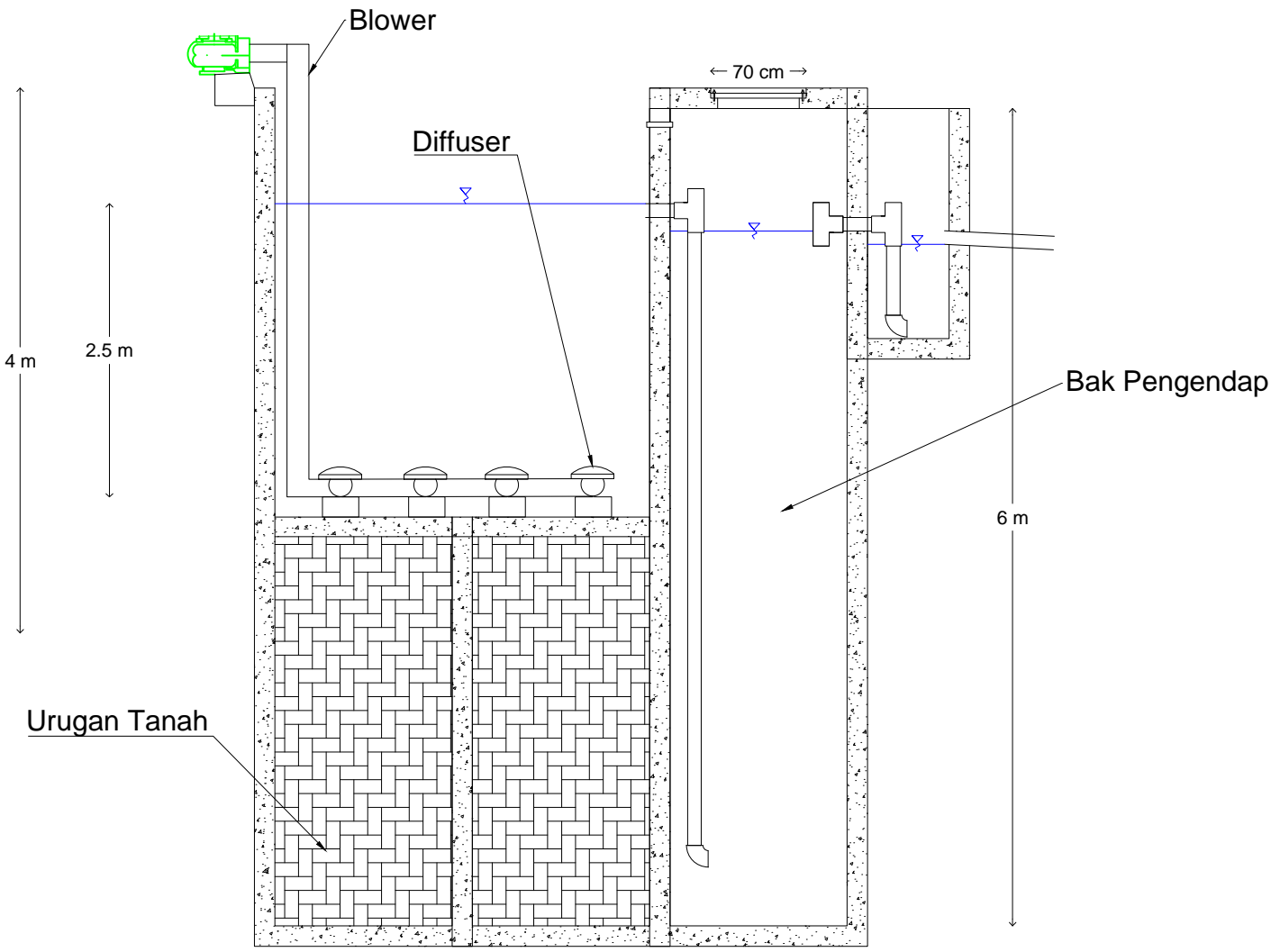
- Beton Bertulang
- Tanah

SKALA NO.GAMBAR

1:50 41



POTONGAN A-A'



POTONGAN B-B'



DEPARTEMEN
Teknik Lingkungan FTSLK - ITS 2018
TUGAS AKHIR
PERENCANAAN
JUDUL GAMBAR
Potongan Bak Pengendap 1, Tangki Aerasi dan Bak Pengendap 2
NAMA
Arif Gemardi 03211440000080
DOSEN PEMBIMBING
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., Ph.D.

LEGENDA
Beton Bertulang
Tanah

SKALA	NO.GAMBAR
1:50	42